

Cobénéfices de REDD+ pour les concessions forestières en Afrique centrale

Cas de la biodiversité à M'Baïki (RCA)

Introduction

Méthodologie

Site d'étude
Modèle de dynamique
forestière
Couplage bioéconomique
Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone
Crédits carbone
Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA
Limites

Conclusion

Références

Florian CLAEYS

Formation doctorale dirigée et encadrée par
Philippe DELACOTE, Sylvie GOURLET-FLEURY,
Alain KARSENTY et Frédéric MORTIER

REDD+ au-delà du carbone

15^{ème} réunion du PFBC, Yaoundé, 16 juin 2015



Sommaire

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone et exploitation forestière

Analyse de revient sur les crédits carbone

Différentiel de biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique
forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références

Amélioration de la gestion forestière (IFM)

- ▶ **Changement de pratique** générant un gain carbone (Somorin et al. 2012, Griscom et Cortez 2013)
 - ▶ Éligible au mécanisme **REDD+** (UNFCCC 2011)
 - ▶ **Multiples activités** envisageables
 - ▶ « Extension des durées de rotation ou des cycles de coupe » (ERA) (VCS 2013)
 - ▶ **Approche compensatrice** basée sur le **carbone** (Karsenty et al. 2012)
- ▶ **REDD+ et biodiversité**
 - ▶ **Clause de sauvegarde** et **cobénéfice** (UNFCCC 2011)
 - ▶ Instruments incitatifs type **PSE** (Marlay 2013)
 - ▶ **Approche compensatrice** basée sur la **biodiversité**
- ▶ **Bois, carbone, biodiversité : des ressources liées**
 - ▶ **Sélectivité** de l'exploitation (Laporte et al. 2007)
 - ▶ **Changements floristiques** (Hall et al. 2003)
- ▶ **Nécessité d'outils de modélisation dynamique à long-terme**

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique
forestière

Couplage bioéconomique
Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références

Projets IFM, carbone et biodiversité

► Problématique

Dans quelle mesure des paiements basés sur le carbone et la biodiversité peuvent-ils financer des projets d'IFM dans les concessions forestières d'Afrique centrale ?

► Démarche en trois étapes

- **Modélisation** de l'exploitation d'une forêt tropicale
 - Dynamique forestière : modélisation matricielle
 - Entreprise forestière : modélisation orientée-objet
- **Simulation** de scénarios IFM
 - Projets ERA
 - Temps long : 100 ans
- **Évaluation** de la faisabilité de projets IFM
 - Carbone : crédits carbone, méthodologie Vcs
 - Biodiversité : indicateurs communément utilisés, basés sur les inventaires forestiers

Introduction

Méthodologie

- Site d'étude
- Modèle de dynamique forestière
- Couplage bioéconomique
- Protocole de simulation

Résultats

- Dynamique carbone
- Crédits carbone
- Biodiversité

Discussion

- Faisabilité des projets ERA
- Limites

Conclusion

Références

Dispositif de M'Baïki (RCA)

Florian CLAEYS

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

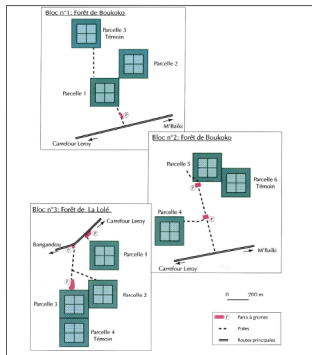
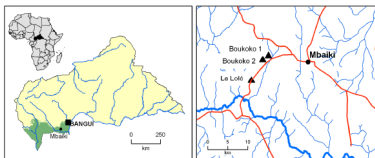
Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

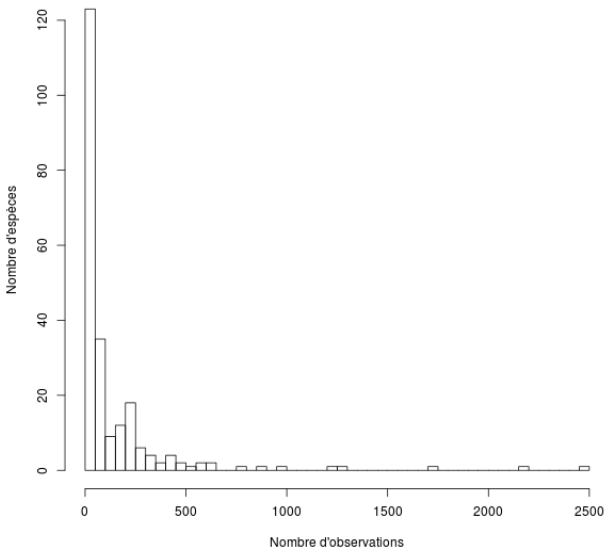
Références



- ▶ 10 × 4 ha en RCA
- ▶ Relevé annuel 1982-2011
- ▶ Trois traitements
 - ▶ Témoin
 - ▶ Exploitation
 - ▶ Exploitation et dévitalisation
- ▶ 230 espèces distinguées
- ▶ 37 539 arbres
- ▶ 639 815 mesures

Dispositif de M'Baïki (Bedel et al. 1998)

Dispositif de M'Baiki



Nombre d'espèces par classe d'observations sur le dispositif de M'Baïki.

Modèle de dynamique forestière

Écosystèmes riches en espèces

- ▶ Grande diversité : taille d'échantillonnage (Picard 2007)
- ▶ Regroupement d'espèces : par réponses plutôt que par des traits *a priori* (Ouedraogo et al. 2013)
- ▶ Sélection de variables : pertinence (Monni et Tadesse 2009)

Mélange de modèles matriciels non-homogènes (MIMM) (Mortier et al. 2014)

- ▶ Modèle matriciel d'Usher (1966; 1969)
- ▶ Regroupement d'espèces sur la base des processus démographiques
- ▶ Sélection de variables environnementales propres à chaque groupe

Modèle de dynamique forestière

Simulation d'une exploitation forestière

Florian CLAEYS

Introduction

Méthodologie

- Site d'étude
- Modèle de dynamique forestière
- Couplage bioéconomique
- Protocole de simulation

Résultats

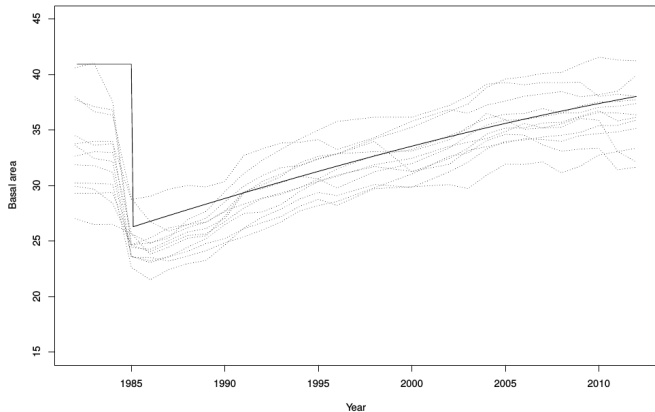
- Dynamique carbone
- Crédits carbone
- Biodiversité

Discussion

- Faisabilité des projets ERA
- Limites

Conclusion

Références



Dynamiques observées et prédites de la surface terrière après une coupe.

Couplage bioéconomique

► Procédure

- **Détermination de l'intensité d'exploitation par saturation d'une contrainte**
 - Quantité d'arbres commerciaux sur pied
 - Capacité de prélèvement
 - Capacité totale de transformation
- **Calcul des valeurs équivalent grume des arbres commerciaux**
 - Essence, qualité, diamètre
 - Type de produit et rendement matière
- **Maximisation des revenus bois sous contraintes : approche *merit-order***
 - Taux de prélèvement
 - Taux de transformation
- **Données utilisées**
 - Tarifs de cubage (Ndjondo et al. 2014)
 - Prix à l'export (ITTO 2014)
 - Dégâts d'exploitation (Picard et al. 2012)

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique
forestière

Couplage bioéconomique
Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

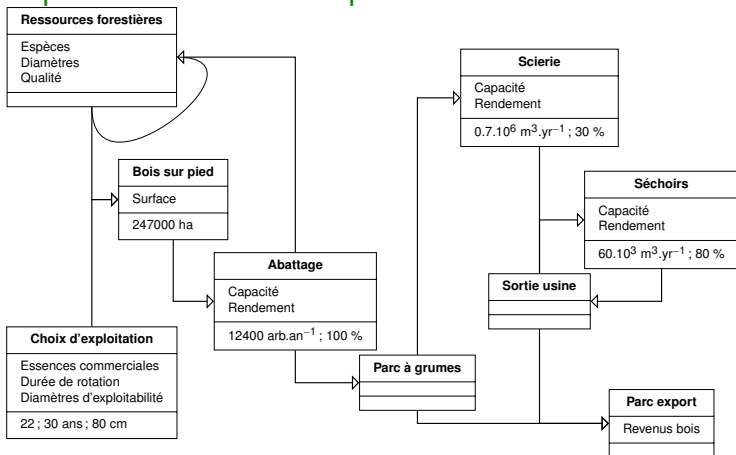
Discussion

Faisabilité des projets ERA
Limites

Conclusion

Références

Représentation UML simplifiée



Protocole de simulation

► Généralités

- Simulation sur 100 ans
- {30 ans; 80 cm} ; $1.5 \text{ arbres} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$

► Projets ERA

- Durée de rotation (DR) : [30 ; 60] ans
- Diamètres minimaux d'exploitabilité (DME) : [80 ; 130] cm

► Analyse de revient des crédits carbone

- Taux de marge 10 %
- Crédits VCS, *buffer* à 20 %
- Approche VAN à 10 %

► Indicateurs de suivi de la biodiversité

- Indice de raréfaction (Hurlbert 1971)
- Entropie de Shannon et Weaver (1963)
- α de Fisher (Magurran 2004)
- Indice de Pielou (1966)

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique
forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références

Gain carbone des projets ERA

En absolu

Florian CLAEYS

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

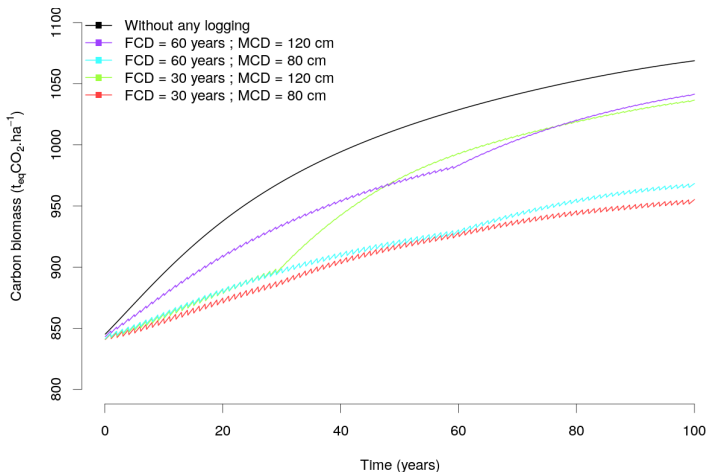
Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références



Évolution au cours du temps de la biomasse carbone épigée (en $t_{CO_2} \cdot ha^{-1}$) sans exploitation et selon plusieurs scénarios d'exploitation.

Gain carbone des projets ERA

En relatif

Florian CLAEYS

Introduction

Méthodologie

Site d'étude
Modèle de dynamique
forestière
Couplage bioéconomique
Protocole de simulation

Résultats

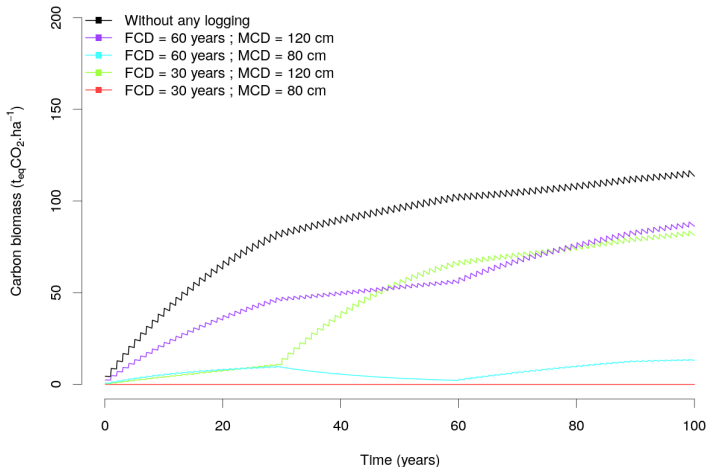
Dynamique carbone
Crédits carbone
Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA
Limites

Conclusion

Références



Évolution au cours du temps du gain carbone (en $t_{CO_2} \cdot ha^{-1}$) selon différents projets ERA.

Évolution au cours du temps des récoltes



Florian CLAEYS

Introduction

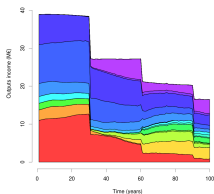
Méthodologie

Site d'étude

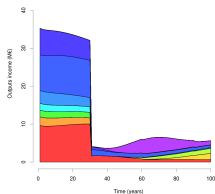
Modèle de dynamique forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation



DR=30 ans ; DME=80 cm.



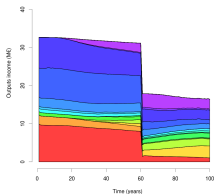
DR=30 ans ; DME=120 cm.

Résultats

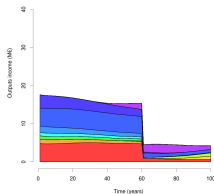
Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité



DR=60 ans ; DME=80 cm.



DR=60 ans ; DME=120 cm.

Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références

Crédits carbone

Prix de revient

Florian CLAEYS

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

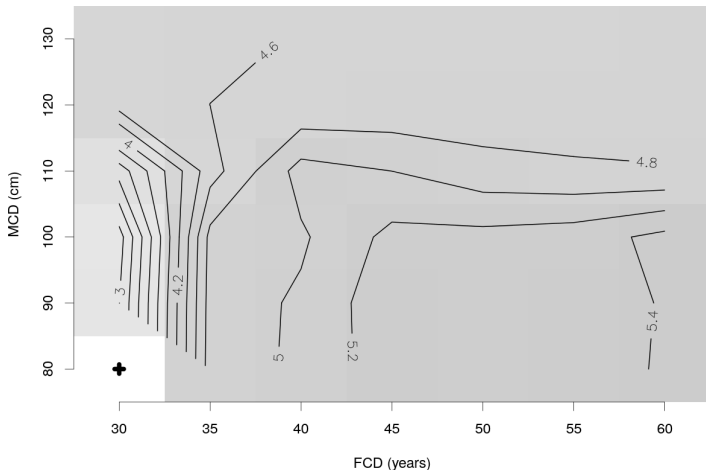
Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références



Prix de revient des crédits carbone (en €/VCU⁻¹) en fonction de la DR et des DME du scénario ERA.

Crédits carbone

Sensibilité au taux d'actualisation

Florian CLAEYS

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

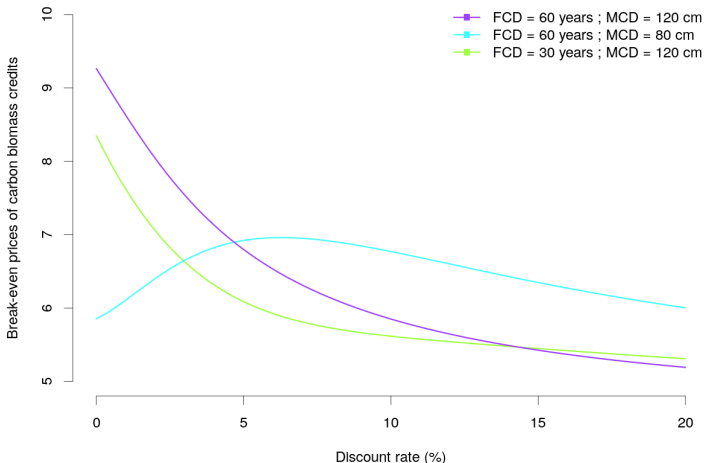
Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références



Sensibilité au taux d'actualisation du prix de revient de crédits carbone permanents.

Différentiel de biodiversité des projets ERA

Florian CLAEYS

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

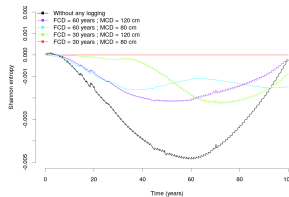
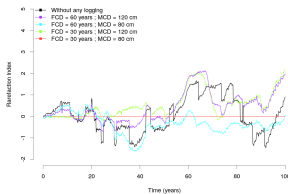
Discussion

Faisabilité des projets ERA

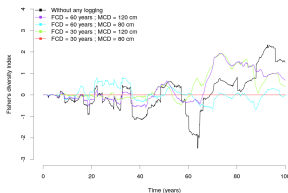
Limites

Conclusion

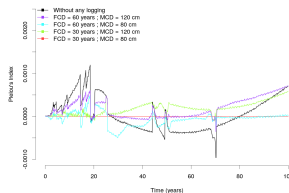
Références



Indice de raréfaction (Hurlbert 1971)



Indice de Shannon et Weaver (1963)

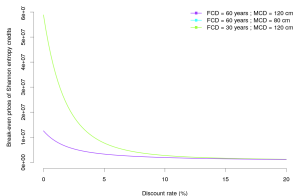
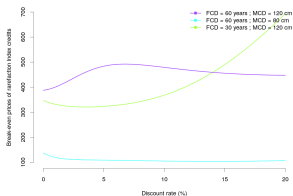


α de Fisher (Magurran 2004)

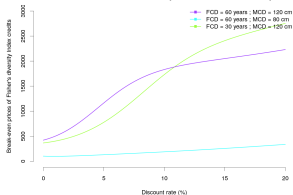
Indice de Pielou (1966)

Évolution au cours du temps du différentiel de différents indices de biodiversité selon différents projets ERA.

Différentiel de biodiversité des projets ERA

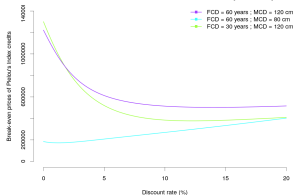


Indice de raréfaction (Hurlbert 1971)



α de Fisher (Magurran 2004)

Indice de Shannon et Weaver (1963)



Indice de Pielou (1966)

Sensibilité au taux d'actualisation du prix de revient de crédits biodiversité permanents.

Introduction

Méthodologie

Site d'étude
Modèle de dynamique forestière

Couplage bioéconomique
Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone
Crédits carbone
Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA
Limites

Conclusion

Références

Faisabilité des projets ERA

► Aspects carbone

- ▶ Bons résultats en termes d'efficacité et d'efficience
- ▶ Vision d'un carbone forestier bon marché confortée (Stern 2006)
 - ▶ Prix de revient : [2.9; 5.5] €
 - ▶ Valeur actuelle : 4.5 € (Goldstein et al. 2014)

► Inconvénients majeurs

- ▶ Acceptabilité
 - ▶ Intérêt privé : augmenter les DME
 - ▶ Intérêt général : augmenter la DR
- ▶ Pérennité dans le temps
 - ▶ Caractère peu contraignant des règles d'exploitation
 - ▶ Décalage entre les bénéfices du projet et les conséquences économiques
- ▶ Forte variabilité
 - ▶ Hétérogénéité des entreprises
 - ▶ Diversité des forêts

Faisabilité des projets ERA

► Aspects biodiversité

- ▶ Effets **incertains** sur les 3 premières rotations
 - ▶ Résilience locale à des perturbations modérées (Connell 1978, Gourlet-Fleury et al. 2013)
 - ▶ Perturbations anciennes (Malhi et al. 2013)
 - ▶ Uniformisation naturelle de la forêt
- ▶ Effets **positifs** au-delà
 - ▶ Impacts de long-terme de l'exploitation forestière (Kammesheidt et al. 2001, Zimmerman et Kormos 2012)
- ▶ **Divergences** d'incitation par rapport au carbone
 - ▶ **Efficacité carbone** : augmenter les DME
 - ▶ **Efficacité Pielou** : augmenter la DR
- ▶ **Inconvénients** d'une incitation basée sur la biodiversité
 - ▶ Mesures classiques de diversité plutôt inadaptées
 - ▶ Paiements fortement décalés dans le temps
 - ▶ Possiblement contre-productifs à court-terme

Limites

- ▶ Biodiversité
 - ▶ Indicateurs classiques théoriques
 - ▶ Diversité des arbres
 - ▶ Inventaires forestiers
- ▶ Qualité de l'analyse
 - ▶ Estimation grossière du coût d'opportunité
 - ▶ Coûts de transaction non considérés
 - ▶ Approche uniquement *ex ante*
- ▶ Stationnarité économique
 - ▶ Pas d'évolution des prix, pas d'amélioration technique
 - ▶ Structure statique de l'outil industriel
- ▶ Articulation entre ressources forestières et outil industriel
 - ▶ Aménagement forestier
 - ▶ Investissements : outil de transformation, sylviculture
 - ▶ Substituabilité des essences principales et de promotion

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique
forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références

Conclusion

► Biodiversité et projets ERA

- Réponse faible à court-terme de la diversité des arbres à des changements de pratique
- Valorisation du cobénéfice « biodiversité » : pas par des paiements basés sur les résultats
- Logique d'incitation radicalement différente à celle du carbone dans REDD+
- Nécessité de constituer d'autres dispositifs permanents de suivi forestier

► Pistes de développement

- Influence de la diversité des forêts et de l'hétérogénéité des entreprises
- Étude d'autres projets IFM et de projets sylvicoles
- Intégration du changement climatique
 - Résilience des forêts
 - Impacts sur l'exploitation forestière
 - Adaptation au changement climatique

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références

Bibliographie I

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique
forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références

- F. Bedel, L. Durrieu de Madron, B. Dupuy, V. Favrichon, V. Maître, A. Bar-Hen, et P. Narboni. *Dynamique de croissance dans des peuplements exploités et éclaircis de forêt dense africaine : le dispositif de M'Baïki en République Centrafricaine (1982-1995)*, volume 1 of *Série FORAFRI*. CIRAD Forêt, Montpellier, France, 1998.
- J. H. Connell. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199(4335) :1302–1310, 1978.
- A. Goldstein, G. Gonzalez, et M. Peters-Stanley. *Turning over a New Leaf : State of the Forest Carbon Markets 2014*. Forest Trends' Ecosystem Marketplace, 2014.
- S. Gourlet-Fleury, D. Beina, A. Fayolle, D. Y. Ouédraogo, F. Mortier, F. Bénédet, D. Closset-Kopp, et G. Decocq. Silvicultural disturbance has little impact on tree species diversity in a Central African moist forest. *Forest Ecology and Management*, 304 :322–332, 2013.
- B. W. Griscom et R. Cortez. The case for improved forest management (IFM) as a priority REDD+ strategy in the tropics. *Tropical Conservation Science*, 6(3), 2013.
- J. S. Hall, D. J. Harris, V. Medjibe, et P. M. S. Ashton. The effects of selective logging on forest structure and tree species composition in a Central African forest : implications for management of conservation areas. *Forest Ecology and Management*, 183(1) :249–264, 2003.
- S. H. Hurlbert. The nonconcept of species diversity : a critique and alternative parameters. *Ecology*, 52 (4) :577–586, 1971.
- ITTO. 16th-30th april 2014. *Tropical timber market report*, 18(8), 2014. *International Tropical Timber Organization* (ITTO), Yokohama, Japan.
- L. Kammesheidt, P. Köhler, et A. Huth. Sustainable timber harvesting in Venezuela : a modelling approach. *Journal of Applied Ecology*, 38(4) :756–770, 2001.
- A. Karsenty, N. Tulyasuwan, Global Witness, et D. Ezzine de Blas. *Financing options to support REDD+ activities*. CIRAD, Montpellier, 2012. Report for the European Commission DG Climate Action.
- N. T. Laporte, J. A. Stabach, R. Grosch, T. S. Lin, et S. J. Goetz. Expansion of industrial logging in Central Africa. *Science*, 316(5830) :1451–1451, 2007.
- A. E. Magurran. *Measuring biological diversity*. Blackwell, Oxford, United Kingdom, 2004.

Bibliographie II

Introduction

Méthodologie

Site d'étude

Modèle de dynamique
forestière

Couplage bioéconomique

Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone

Crédits carbone

Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA

Limites

Conclusion

Références

- Y. Malhi, S. Adu-Bredu, R. A. Asare, S. L. Lewis, et P. Mayaux. African rainforests : past, present and future. *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences*, 368(1625) : 20120312, 2013. 00001.
- S. Marlay. Clarifying the role of non-carbon benefits in REDD+, 2013. Environmental Defense Fund.
- S. Monni et M. G. Tadesse. A stochastic partitioning method to associate high-dimensional responses and covariates. *Bayesian Analysis*, 4(3) :413–436, 2009.
- F. Mortier, D.-Y. Ouédraogo, F. Claeys, M. G. Tadesse, G. Cornu, F. Baya, F. Benedet, V. Freycon, S. Gourlet-Fleury, et N. Picard. Mixture of inhomogeneous matrix models for species-rich ecosystems. *Environmetrics*, 2014.
- M. Ndjondo, S. Gourlet-Fleury, R. Manlay, N. Engone Obiang, A. Ngomanda, C. Romero, F. Claeys, A. Karsenty, et N. Picard. Opportunity cost of carbon sequestration in a forest concession in central Africa. *Carbon balance and management*, 9(4), 2014.
- D.-Y. Ouédraogo, F. Mortier, S. Gourlet-Fleury, V. Freycon, et N. Picard. Slow-growing species cope best with drought : evidence from long-term measurements in a tropical semi-deciduous moist forest of Central Africa. *Journal of Ecology*, 101(6) :1459–1470, 2013.
- N. Picard. Modélisation de la dynamique de forêts naturelles tropicales : quel niveau de description ? – mémoire de synthèse en vue d'une candidature à une habilitation à diriger des recherches. *Université de Montpellier II ; Cirad, Montpellier*, 2007.
- N. Picard, S. Gourlet-Fleury, et É. Forni. Estimating damage from selective logging and implications for tropical forest management. *Canadian Journal of Forest Research*, 2012.
- E. C. Pielou. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *Journal of theoretical biology*, 10(2) :370–383, 1966.
- C. E. Shannon et W. Weaver. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois, 1963.
- O. Somorin, H. Brown, I. Visseren-Hamakers, D. Sonwa, B. Arts, et J. Nkem. The Congo Basin forests in a changing climate : policy discourses on adaptation and mitigation (REDD+). *Global Environmental Change*, 22 :268–298, 2012.
- N. Stern. *The economics of climate change : the Stern review*. Cambridge University Press, 2006.

Florian CLAEYS

Introduction

Méthodologie

Site d'étude
Modèle de dynamique
forestière
Couplage bioéconomique
Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone
Crédits carbone
Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA
Limites

Conclusion

Références

- UNFCCC. Decision 1/CP.16. The Cancun Agreements : Outcome of the work of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention. In *Report of the Conference of the Parties on its sixteenth session, held in Cancun from 29 November to 10 December 2010 – Addendum – Part Two : Action taken by the Conference of the Parties at its sixteenth session*, pages 2–31. *United Nations Framework Convention on Climate Change*, 2011.
- M. Usher. A matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to selection forests. *Journal of Applied Ecology*, pages 355–367, 1966.
- M. Usher. A matrix model for forest management. *Biometrics*, pages 309–315, 1969.
- VCS. *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) Requirements – VCS Version 3 Requirements Document 8 October 2013, v3.4*. Verified Carbon Standard, 2013.
- B. L. Zimmerman et C. F. Kormos. Prospects for sustainable logging in tropical forests. *BioScience*, 62 (5) :479–487, 2012.

Florian CLAEYS

Introduction

Méthodologie

Site d'étude
Modèle de dynamique
forestière
Couplage bioéconomique
Protocole de simulation

Résultats

Dynamique carbone
Crédits carbone
Biodiversité

Discussion

Faisabilité des projets ERA
Limites

Conclusion

Références

- CCNUCC** Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (UNFCCC)
- DME** diamètre minimal d'exploitabilité
- DR** durée de rotation
- ERA** « Extension des durées de rotation ou des cycles de coupe » (*Extension of Rotation Age/Cutting Cycle*)
- IFM** amélioration de la gestion forestière (*Improved Forest Management*)
- ITTO** *International Tropical Timber Organization* Organisation Internationale des Bois Tropicaux
- MIMM** Mélange de modèles matriciels non-homogènes (*Mixture of inhomogeneous matrix models*)
- PFBC** Partenariat pour les Forêts du Bassin du Congo
- PSE** Paiement pour Services Environnementaux
- RCA** République Centrafricaine
- REDD+** Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation forestière, incluant la conservation, la gestion forestière durable et l'augmentation des stocks de carbone forestier
- UML** Langage de modélisation unifié (*Unified Modeling Language*)
- UNFCCC** *United Nations Framework Convention on Climate Change* (CCNUCC)
- VAN** Valeur actualisée nette
- VCS** *Verified Carbon Standard*
- VCU** Unité de carbone vérifiée *Verified Carbon Unit*

Cobénéfices de REDD+ pour les concessions forestières en Afrique centrale

Cas de la biodiversité à M'Baïki (RCA)

Introduction

Méthodologie

- Site d'étude
- Modèle de dynamique forestière
- Couplage bioéconomique
- Protocole de simulation

Résultats

- Dynamique carbone
- Crédits carbone
- Biodiversité

Discussion

- Faisabilité des projets ERA
- Limites

Conclusion

Références

Florian CLAEYS

Formation doctorale dirigée et encadrée par
Philippe DELACOTE, Sylvie GOURLET-FLEURY,
Alain KARSENTY et Frédéric MORTIER

REDD+ au-delà du carbone

15^{ème} réunion du PFBC, Yaoundé, 16 juin 2015

