





PROTOCOLE N° 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ SOUS-ACTIONS 3.4/4.4 – RAPPORT FINAL

MODÉLISATION SPATIALEMENT EXPLICITE DU RISQUE DE DÉFORESTATION ET DE DÉGRADATION DES FORÊTS EN RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO VERSION 1.0

DOCUMENT DE RÉF.: LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ

RÉF. DU DÉLIVRABLE : RF-SA-3.4/4.4

VERSION: 1.0

DATE DE CRÉATION: 19-08-2013

DERNIÈRE MODIFICATION: 30-09-2013

Page blanche intentionnelle.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	30.09.2013		
Page	3			



Tableau des signatures du document									
	NOM	FONCTION	PRESTATAIRE	SIGNATURE	DATE				
Preparé	Kibambe Lubamba JP.	Chercheur	UCL/ELI_Géomatique		30-09-2013				
PREPARÉ	Jungers Quentin	Chercheur	UCL/ELI_Géomatique		30-09-2013				
PREPARÉ	Defourny Pierre	Responsable du Projet	UCL/ELI_Géomatique		30-09-2013				
Verifié	Kibambe Lubamba JP.	Chercheur	UCL/ELI_Géomatique		30-09-2013				
Approuvé	Defourny Pierre	Responsable du Projet	UCL/ELI_Géomatique		30-09-2013				

Suivi des versions du document

VERSION	DATE	DESCRIPTION	Approuvé
1.0	30-09-2013	Rapport final Sous-Actions 3.4/4.4	1.0

De la version 1.0 à la version 1.1

RID	SECTION	COMMENTAIRES

Liste de diffusion du document

ORGANISATION	NOM	QUANTITÉ
FAO-RDC	Atanda Gilbert	1



				_	
Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013	Ì	
Page	4				



PRÉAMBULE

La République Démocratique du Congo (RDC) s'est résolument engagée dans le mécanisme international de la Réduction des Emissions liées à la Déforestation, la Dégradation des forêts, la conservation des forêts, la gestion durable des forêts et l'accroissement des stocks de carbone forestier (REDD+) visant à limiter les émissions de gaz à effets de serre d'origine anthropique et liées aux activités de dégradation des forêts et de déforestation. La RDC bénéficie ainsi d'un appui financier de l'ONU REDD pour la réalisation d'activités préliminaires nécessaires à la mise en place du mécanisme REDD+ dans le pays.

Dans le cadre de ces activités préliminaires, une étude a été réalisée par l'UCL/ELI_Géomatique en 2011 sous financement de la FAO, portant sur l'identification des causes de la déforestation et de la dégradation forestière en RDC pour les périodes 1990-2000-2005. A la suite de cette première analyse pionnière, il est apparu indispensable de réaliser une série d'études prospectives sur l'évolution du couvert forestier en RDC, sur base des causes identifiées et des scénarios plausibles devant être construits en concertation avec toutes les parties prenantes identifiées par la Coordination Nationale REDD (CN-REDD) en RDC. La Représentation nationale de la FAO en RDC a ainsi chargé l'UCL/ELI_Géomatique, au travers du protocole d'accord 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ, d'analyser et simuler les risques de déforestation et de dégradation des forêts en RDC.

Ces simulations visent notamment à alimenter la réflexion sur la définition du niveau de référence des émissions dues à la déforestation et à la dégradation des forêts dont doit se doter la RDC dans le cadre de son engagement dans le mécanisme REDD+. Ces études prospectives s'articulent autour des quatre Actions suivantes :

- 1. Le suivi du taux de changement du couvert forestier sur une période de 20 ans (1990-2010)
- 2. L'analyse de l'impact sur les superficies forestières du choix de différentes définitions possibles de la forêt dans le cadre de la CCNUCC (Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique)
- 3. La simulation des cartes de risque de perte de couvert forestier au niveau national
- 4. La simulation des cartes de risque de perte de couvert forestier dans la zone du programme de réduction d'émissions du Mai-Ndombe.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	5				



RÉSUMÉ ÉXÉCUTIF

Dans le cadre du programme ONU REDD (Réduction des Émissions liées à la Déforestation et à la Dégradation des Forêts dans les pays en développement), une modélisation spatialement explicite de la perte du couvert forestier en RDC à l'horizon 2035 a été réalisée, sur base de deux scénarios quantifiés et réalistes. Cette modélisation s'est appuyée sur un historique de changement de la couverture forestière entre 1990 et 2010, permettant de dégager des tendances pour la simulation des changements futurs. Il a été observé que les taux de déforestation et de dégradation forestière ont pratiquement doublé entre les périodes 1990-2000 et 2005, tandis que seule la déforestation a légèrement augmenté entre les périodes 2000-2005 et 2005-2010. Dans le cas de la RDC, cette historique de l'évolution du couvert forestier sur une période de 20 ans constitue une réalisation pionnière rendue possible par la combinaison des deux approches fournissant à ce jour les meilleures estimations de l'étendue et des pertes du couvet forestier en RDC.

Les informations extraites de l'historique de la déforestation et de la dégradation des forêts ont permis de modéliser les évolutions possibles du couvert forestier en RDC. Cette modélisation a aussi permis de dériver certaines variables essentielles dont les données de base ne sont pas actuellement disponibles. Ces variables concernent notamment la répartition spatiale de la population de la RDC ainsi que l'accessibilité multimodale aux agglomérations et villages importants. Ces deux variables ont permis d'observer que 62% des changements du couvert forestier entre 2000-2005 correspond aux zones de faible densité de population (0-6 habitants/km²) et que par ailleurs 70% de ces changements étaient localisées dans des zones situées à un maximum de 7 heures de l'agglomération importante la plus proche. En RDC, cette durée correspond typiquement à un trajet aller-retour entre les villages et les marchés.

Deux cartes d'occupation du sol correspondant aux années 2000 et 2005 ont permis de calibrer le modèle de simulation et une troisième carte pour l'année 2010 a servi à la validation du modèle. **Deux scénarios** ont été construits afin de simuler les évolutions possibles du couvert forestier. Le scénario BAU a simulé les réductions du couvert forestier sur base de la croissance démographique ainsi que du besoin en terres forestières qui en découle, à raison d'une moyenne de 0.25 ha par ménage agricole. Le scénario de conservation des forêts a simulé l'effet des mesures d'atténuation de l'impact des activités humaines sur l'évolution du couvert forestier en considérant les réductions futures des surfaces forestières comme étant identiques à celles observées durant la période 2000-2005. **Ces deux scénarios ont été retenus de part leur caractère réaliste ainsi que leur cohérence par rapport aux données actuellement disponibles**. D'autres scénarios plus spéculatifs pourraient être définis en incluant l'évolution de l'environnement macroéconomique, la demande mondiale en produits forestiers, les besoins en bois de chauffe et bois-énergie, etc. La mise en œuvre rigoureuse de ces



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0 Date 30.09.2013		30.09.2013
Page	6		



scénarios nécessiterait par contre un ensemble de données non disponibles dans le contexte actuel de la RDC.

La simulation BAU pour l'année 2010 a montré une bonne cohérence avec la carte d'occupation du sol pour la même année, avec un pourcentage global d'accord de l'ordre 98%. Cette valeur élevée s'explique notamment par le fait que les changements intervenus entre 2005 et 2010 étaient minimes comparativement aux superficies des classes forestières. Ceci démontre aussi que le scénario BAU tel qu'implémenté constitue un bon indicateur de la réduction du couvert forestier en RDC à court terme. En outre, les estimations de la simulation BAU ont indiqué que la population de la RDC va probablement doubler en 2035 par rapport à la population en 2005, induisant une réduction de la superficie forestière d'environ 2,5 fois plus grande que celle résultant du scénario de conservation de la forêt.

Le scénario de conservation de la forêt a indiqué que la RDC peut demeurer un pays forestier à faible taux de déforestation dans les prochaines années, en particulier si des actions d'atténuation de la déforestation et de la dégradation forestière sont mises en œuvre. Celles-ci peuvent concerner (1) la réduction des activités humaines ayant un impact direct sur la perte du couvert forestier dans le cadre des initiatives telles que la REDD, (2) un meilleur encadrement de l'agriculture paysanne afin de maintenir une bonne fertilité des sols au fil des années pour freiner la progression du front agricole en zones forestières, (3) une planification stratégique de l'usage des terres dans le cadre d'une politique d'aménagement du territoire à l'échelle nationale et locale, ainsi (4) qu'une évaluation de l'impact de la construction et de la réhabilitation d'infrastructures sur la perte du couvert forestier.

Les zones de changement majeurs pour les deux scénarios correspondent à des zones assez bien définies: l'Est et le Nord-Est de la RDC, la région Lisala-Bumba-Gemena, la limite Nord de la cuvette centrale, les zones correspondant aux greniers agricole de la ville de Kinshasa dans les provinces du Bas-Congo et du Bandundu, les zones d'exploitation minière dans la région Tshikapa-Mbuji-Mayi, la région autour de la ville de Lodja, ainsi que dans les zones de savane situées en proximité immédiate des villes importantes telles que Lubumbashi. Pour chacune de ces régions, une dynamique majeure spécifique en lien avec la perte du couvert forestier a pu être identifié, permettant d'alimenter la réflexion sur la mise en place des mesures d'atténuation de l'impact de ces différentes activités sur le couvert forestier.

Dans la zone de réduction des émissions du Maï-Ndombe, les simulations ont montré que la partie Ouest de la zone sera sujette à des changements importants suite à la présence d'agglomérations importances. Pour la zone à l'Est du lac Maï-Ndombe, les simulations ont montré une faible quantité de changement dans cette région constituée majoritairement de forêts édaphiques. D'autres zones importantes de changement y concernent les régions à proximité des rivières Mfimi et Kasaï, pouvant constituer des greniers agricoles important pour les centres urbains tels que Kinshasa.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0 Date 30.09.2013			1	
Page	7			1	



ABRÉVIATIONS

BAU : Business-As-Usual.

CN-REDD : Coordination Nationale REDD en République Démocratique du Congo.

CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique.

ETM+ : Enhanced Thematic Mapper Plus.

ELI : Earth and Life Institute.

FACET : Forêts d'Afrique Centrale Evaluées par Télédétection.

FAO : United Nations Food and Agriculture Organization.

GCT : Groupe de Coordination Thématique.

ND : Non Disponible.

ONU : Organisation des Nations Unies.

OFAC : Observatoire des Forêts d'Afrique Centrale.

OSFAC Observatoire Satellital des Forêts d'Afrique Centrale.

RDC : République Démocratique du Congo.

REDD : Réduction des Emissions liées à la Déforestation et à la Dégradation des forêts.

SPOT : Satellite pour l'Observation de la Terre.

TM : Thematic Mapper.

UCL : Université catholique de Louvain.

WRI : World Resources Institute.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	8				



DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

ID	TiTRE	TYPE	ANNEE
[DR-1]	Achard, F., Stibig, HJ., Eva, H. D., Lindquist, E. J., Bouvet, A., Arino, O., and Mayaux, P. (2010). <i>Estimating tropical deforestation from Earth observation data</i> . Carbon Management, 1(2):271-287.	Article de périodique	2010
[DR-2]	Baker, T. J., Miller, S. N., Prager, S. D., and Legg, D. E. (2010). <i>Disaggregating human population for improved land use management in Kenya</i> . Journal of Land Use Science, 5(4):237-257.	Article de périodique	e 2010
[DR-3]	Blaes, X. (2009). <i>Spécifications de contenu du Référentiel Géographique Commun</i> - RDC. Technical report, United Nations Development Program - DRC.	Rapport de synthèse	e 2009
[DR-4]	Bogaert, J., Issouf Bamba, K., Ko, J., Sibomana, S., Kabulu Djibu, JP., Champluvier, D., Robbrecht, E., De Cannière, C., , and Visser, M. N. (2008). Patterns and Processes in Forest Landscapes - Multiple Use and Sustainable Management, chapter Fragmentation of Forest Landscapes in Central Africa: Causes, Consequences and Management, pages 67-87. Springer.	Chapitre d'ouvrage	2008
[DR-5]	Brainard, J. S., Lovett, A. A., and Bateman, I. J. (1997). <i>Using isochrone surfaces in travel-cost models</i> . Journal of Transport Geography, 5(2):117-126.	Article de périodique	1997
[DR-6]	Brainard, J. (1999). <i>Integrating geographical information systems into travel cost analysis and benefit transfer</i> . International Journal of Geographical Information Science, 13(3):227-246.	Article de périodique	1999
[DR-7]	Brown, D. G., Pijanowski, B., and Duh, J. D. (2000). <i>Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA</i> . Journal of Environmental Management, 59(4):247-263.	Article de périodique	e 2000
[DR-8]	Chomitz, K. M. and Gray, D. A. (1996). Roads, Land Use, and Deforestation: A Spatial Model Applied to Belize. The World Bank Economic Review, 10(3):487-512.	Article de périodique	1996
[DR-9]	CN-REDD (2011). Scénarios de développement et vision REDD+. Rapport d'atélier du 17 et 18 Novembre 2011.	Rapport d'atélier	2011
[DR-10]	Crampton, J. W. (2004). GIS and Geographic Governance: Reconstructing the Chloropleth Map. Cartographica, 39:41-53.	Article de périodique	2004
[DR-11]	Curtin, K. M., Nicoara, G., and Arifin, R. R. (2007). <i>A Comprehensive Process for Linear Referencing</i> . URISA Journal, 19(2):23-32.	Article de périodique	2007



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0	Date	30.09.2013
Page	9		



ID	TiTRE	TYPE	ANNEE
[DR-12]	Defourny, P., Delhage, C., and Kibambe Lubamba, JP. (2011). Analyse quantitative des causes de la déforestation et de la dégradation des forêts en République Démocratique du Congo. Technical report, Earth and Life Institue Environment - Université catholique de Louvain.	Rapport de synthèse	2011
[DR-13]	Defourny, P., Jungers, Q., Kibambe Lubamba, JP. (2013). Elaboration d'une série d'observations de 20 ans pour la déforestation et la dégradation des forêts et calcul des taux de pertes du couvert forestier en RDC. Compte rendu final, Protocole FAO-UCL\ELI_Geomatics LoA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ.	Rapport de synthèse	2013
[DR-14]	Deichmann, U., Balk, D., and Yetman, G. (2001). <i>Transforming population data for interdisciplinary usages: from census to grid.</i> Technical report, Center for International Earth Science Information Network.	Rapport de synthèse	2001
[DR-15]	De Saint Moulin, L. (2006). Analyse par territoire et ville des résultats de l'enrôlement des élécteurs et du référendum sur le projet de constitution. Congo-Afrique, Numéro Spécial:9-29.	Article de périodique	2006
[DR-16]	Desclée, B., Bogaert, P., and Defourny, P. (2006). Forest change detection by statistical object-based method. Remote Sensing of Environment, 102:1-11.	Article de périodique	2006
[DR-17]	Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., and Mayaux, P. (2008). Deforestation in Central Africa: Estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. Remote Sensing of Environment, 112(5):1969-1981.	Article de périodique	2008
[DR-18]	Dobson, J. E., Bright, E. A., Coleman, P. R., Durfee, R. C., and Worley, B. A. (2000). <i>LandScan: A global population database for estimating population at risk</i> . Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 66 (7):849-857.	Article de périodique	2000
[DR-19]	Eastman, J. R., Solorzano, L. A., and van Fossen, M. E. (2005). GIS, Spatial Analysis, and Modeling , chapter Transition Potential Modeling for land-cover change, pages 357-385. ESRI Publisher Press.	Chapitre d'ouvrage	2005
[DR-20]	Eckert, S., Ratsimba, H. R., Rakotondrasoa, L. O., Rajoelison, L. G., and Ehrensperger, A. (2011). Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and carbon stock of lowland rainforest in the Analanjirofo region, Madagascar. Forest Ecology and Management, 262:11:1996-2007.	Article de périodique	2011



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013	Ī	
Page	10				



ID	TiTRE	TYPE	ANNEE
[DR-21]	Echeverria, C., Coomes, D., Salas, J., Rey-Benayas, J. M., Lara, A., and Newton, A. (2006). <i>Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests</i> . Biological Conservation, 130:481-494.	Article de périodique	2006
[DR-22]	Ernst, C., Mayaux, P., Verhegghen, A., Bodart, C., Musampa, C., and Defourny, P. (2013). <i>National forest cover change in Congo Basin: deforestation, reforestation, degradation and regeneration for the years 1990, 2000 and 2005</i> . Global Change Biology, 19(4):1173-1187.	Article de périodique	2013
[DR-23]	Gun Wang, H., Federico Barra, A., Krishnamani, R., and Nogales, A. (2009). Déterminer les priorités des investissements dans l'infrastructure: une approche spatiale. Technical report, The World Bank.	Rapport de synthèse	2009
[DR-24]	Herderschee, J., Kaiser, KA., and Samba Mukoko, D. (2012). Résilience d'un Géant Africain - Accélérer la croissance et promouvoir l'emploi en République Démocratique du Congo, volume 1, chapitre Synthèse, Contexte Historique et Macroéconomique, pages 1-352. Médiaspaul.	Ouvrage	2012
[DR-25]	Hansen, M. C., Roy, D. P., Lindquist, E., Adusei, B., Justice, C. O., and Altstatt, A. (2008). <i>A method for integrating MODIS and Landsat data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo basin</i> . Remote Sensing of Environment, 112:2495-2513.	Article de périodique	2008
[DR-26]	Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B., and Manjoro, M. (2009). Rural sustainability under threat in Zimbabwe - Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. Applied Geography, 29:435-447.	Article de périodique	2009
[DR-27]	Kibambe Lubamba Jean-Paul, Defourny Pierre (2010). <i>Towards landuse dynamics dynamics modeling: A case study of the Democratic Republic of the Congo</i> . Monitoring Forest Carbon Stocks and Fluxes in the Congo Basin Conference (Brazzaville – Republic of Congo).	Proceeding de conférence	2010
[DR-28]	Kibambe Lubamba Jean-Paul, Radoux Julien et Defourny Pierre (2013). <i>Multimodal accessibility modeling from coarse transportation networks in Africa</i> . International Journal of Geographical Information Science, 27 (5): 1005 – 1022.	Article de périodique	2013
[DR-29]	Latham, J.(2001). Africover eastern Africa. LUCC Newsletter, 7:15-16.	Article de périodique	2001
[DR-30]	Lindquist, E. J., Hansen, M. C., Roy, D. P., and Justice, C. O. (2008). The suitability of decadal image data sets for mapping tropical forest cover change in the Democratic Republic of Congo: implications for the global land survey. International Journal of Remote Sensing, 29:24:7269-7275.	Article de périodique	2008



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	11				



ID	TiTRE	TYPE		ANNEE
[DR-31]	Makana, JR. and Thomas, S. C. (2006). <i>Impacts of Selective Logging and Agricultural Clearing on Forest Structure, Floristic Composition and Diversity, and Timber Tree Regeneration in the Ituri Forest, Democratic Republic of Congo.</i> Biodiversity & Conservation, 15(4):1375-1397.	Article périodique	de	2006
[DR-32]	Mas, J. F., Puig, H., Palacio, J. L., and Sosa-López, A. (2004). <i>Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks</i> . Environmental Modelling & Software, 19(5):461-471.	Article périodique	de	2004
[DR-33]	Megevand C., Mosnier A., Hourticq J., Sanders K., Doetinchen N. Streck C. (2013). <i>Deforestation trends in the Congo Basin</i> – <i>Reconciling economic growth and forest protection</i> . The World Bank, Washington DC, United States of America.	Ouvrage		2013
[DR-34]	Mennis, J. (2009). Dasymetric Mapping for Estimating Population in Small Areas. Geography Compass, 3(2):727-745.	Article périodique	de	2009
[DR-35]	Mertens, B. and Lambin, E. F. (2000). <i>Land-Cover-Change Trajectories in Southern Cameroon</i> . Annals of the Association of American Geographers, 90(3):467-494.	Article périodique	de	2000
[DR-36]	Monmonier, M. (1996). How to lie with maps. chapter Data maps: Making nonsense of the census, pages 123-146. Chicago: The University of Chicago Press.	Chapitre d'ouvrage		1996
[DR-37]	Nackoney, J., Rybock, D., Dupain, J., and Facheux, C. (2013). <i>Coupling participatory mapping and GIS to inform village-level agricultural zoning in the Democratic Republic of the Congo</i> . Landscape and Urban Planning, 110(110):164-174.	Article périodique	de	2013
[DR-38]	Nelson, A. (2000). <i>Accessibility, transport and travel time information</i> . Technical report, CIAT Hillsides.	Rapport synthèse	de	2000
[DR-39]	Nelson, A. (2008). <i>Travel time to major cities: A global map of Accessibility</i> . Technical report, Global Environment Monitoring Unit - Joint Research Centre of the European Commission, Ispra Italy.	Rapport synthèse	de	2008
[DR-40]	Ngondo, P. S., De Sain Moulin, L., and Tambashe, O. B. (1992). Perspectives démographiques du Zaïre 1984-1999 & Population d'âge électoral en 1993-1994. Centre d'Etudes pour l'Action Sociale.	Article périodique	de	1992
[DR-41]	Perry, B. and Gesler, W. (2000). <i>Physical access to primary health care in Andean Bolivia</i> . Social Science & Medicine, 50(9):1177-1188.	Article périodique	de	2000
[DR-42]	Pijanowski, B. C., Brown, D. G., Shellito, B. A., and Manik, G. A. (2002). <i>Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a Land Transformation Model</i> . Computers, Environment and Urban Systems, 26(6):553-575.	Article périodique	de	2002



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	12				



ID	TiTRE	TYPE	ANNEE
[DR-43]	Pontius Jr, R. G., Cornell, J. D., and Hall, C. A. S. (2001). <i>Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica</i> . Agriculture, Ecosystems and Environment, 85(1):191-203.	Article de périodique	2001
[DR-44]	Potapov, P. V., Turubanova, S. A., Hansen, M. C., Adusei, B., Broich, M., Altstatt, A., Mane, L., and Justice, C. O. (2012). <i>Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000-2010, with Landsat ETM+ data</i> . Remote Sensing of Environment, 122:106-116.	Article de périodique	2012
[DR-45]	Salvatore, M., Pozzi, F., Ataman, E., Huddleston, B., and Bloise, M. (2005). <i>Mapping global urban and rural population distributions</i> . Technical report, UN Food and Agriculture Organization.	Rapport de synthèse	2005
[DR-46]	Schneider, R. R. (1995). Government and the economy on the Amazon frontier. World Bank environment paper. World Bank, Washington, DC.	Rapport de synthèse	1995
[DR-47]	Schure, J., Ingram, V., and Akalakou-Mayima, C. (2011). Bois énergie en RDC: Analyse de la filière des villes de Kinshasa et de Kisangani. Technical report, Projet Makala/CIFOR.	Rapport de synthèse	2011
[DR-48]	Swetnam, R. D., Fisher, B., Mbilinyi, B. P., Munishi, P. K. T., Willcock, S., Ricketts, T., Mwakalila, S., Balmford, A., Burgess, N. D., Marshall, A. R., and Lewis, S. L. (2011). <i>Mapping socio-economic scenarios of land cover change: A GIS method to enable ecosystem service modelling</i> . Journal of Environmental Management, 92(3):563-574.	Article de périodique	2011
[DR-49]	Tatem, A. J., Noor, A. M., Von Hagen, C., and Hay, S. I. (2007). High resolution population maps for low income nations: combining land cover and census in East Africa. PLoS ONE, 2 (12).	Article de périodique	2007
[DR-50]	Tanser, F., Gijsbertsen, B., and Herbst, K. (2006). <i>Modelling and understanding primary health care accessibility and utilization in rural South Africa: An exploration using a geographical information system</i> . Social Science & Medicine, 63(3):691-705.	Article de périodique	2006
[DR-51]	Tollens, E. (2010). <i>Potential Impacts of Agriculture Development on the Forest Cover in the Congo Basin</i> . Technical report, Katholieke University of Leuven (K.U.Leuven).	Rapport de synthèse	2010
[DR-52]	Vancutsem, C., Kibambe Lubamba, JP., Blaes, X., Pekel, JF., Alarcon, M., and Defourny, P. (2007). <i>Carte générale de la République Démocratique du Congo 1 : 2 000 000 .</i> Presses Universitaires de Louvain.	Carte générale	2007
[DR-53]	Vancutsem C., Pekel JF., Evrard C., Malaisse F., Defourny P. (2008). <i>Mapping and characterizing the vegetation types of the Democratic Republic of Congo using SPOT VEGETATION time series</i> . International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11(6):62-76.	Article de périodique	2008



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013	1	
Page	13				



ID	TITRE	TYPE	ANNEE
[DR-54]	Verburg, P. H., de Nijs, T. C. M., van Eck, J. R., Visser, H., and de Jong, K. (2004). A method to analyse neighbourhood characteristics of land use patterns. Computers, Environment and Urban Systems, 28:667-690.	Article de périodique	2004
[DR-55]	Watts, R. D., Compton, R. W., McCammon, J. H., and Ouren, D. S. (2003). <i>Intensity of Human Use, Backcountry Roads, and Analysis of Human Accessibility</i> . In Group, T. R., editor, Tahoe Research Group/Tahoe Environmental Research Center Publications . Tahoe Research Group/Tahoe Environmental Research Center Publications, John Muir Institute of the Environment, UC Davis.	Ouvrage	2003
[DR-56]	White, R. and Engelen, G. (2000). <i>High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems</i> . Computers, Environment and Urban Systems, 24(5):383-400.	Article de périodique	2000
[DR-57]	Xiang, WN. and Clarke, K. C. (2003). <i>The use of scenarios in land-use planning</i> . Environment and Planning B: Planning and Design, 30(6):885-909.	Article de périodique	2003
[DR-58]	Zhang, Q., Justice, C. O., Jiang, M., Brunner, J., and Wilkie, D. S. (2006). <i>A gisbased assessment on the vulnerability and future extent of the tropical forests of the congo basin</i> . Environmental Monitoring and Assessment, 114:107-121.	Article de périodique	2006



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	14			



TABLE DES MATIÈRES

PREA	MBULE	4
RESU	ME EXECUTIF	5
ABRE	VIATIONS	7
DOCU	JMENTS DE RÉFÉRENCE	8
TABL	E DES MATIÈRES	14
LISTE	DES FIGURES	16
LISTE	DES TABLES	17
1 IN	NTRODUCTION	18
1.1	Objectif	
1.2	Synthèse bibliographique	
1.3	Données disponibles	
1.3.1		
pério	ode 2000-2010	24
1.3.2	ϵ	
écha	ntillonnage systématique d'images Landsat	26
1.3.3		
1.3.4	1 1	
1.3.5		
1.3.6	ι ι	
	MODÉLISATION DU RISQUE DE LA DÉFORESTATION ET DE LA DÉGRADAT	
FORE	STIÈRE	33
2.1	Modélisation de la distribution spatiale de la population	33
2.2	Modélisation de l'accessibilité multimodale	
2.3	Identification et quantification des évolutions possibles du couvert forestier	
2.3.1		
2.3.2		
2.4	Modélisation spatialement explicite de la perte du couvert forestier	
2.4.1	• •	
2.4.2	•	
2.4.3	•	
2.4.4		
	RÉSULTATS	
3.1	Résultats du modèle national	
3.1.1		
3.1.2	1	
3.1.3		
3.	.1.3.1 Scénario de conservation des forêts	45



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	15			



3.1.3.2	Scénario BAU	46
3.1.3.3	Validation du modèle de perte de couvert forestier	47
3.1.3.4	Analyse des patterns des pertes simulées du couvert forestier	48
3.2 Rés	ultats du modèle à l'échelle de la zone du projet de réduction des émissions d	lu Maï-Ndombe
54		
3.2.1 F	Répartition spatiale du risque de perte du couvert forestier	56
3.2.1.1	Scénario de conservation des forêts	56
3.2.1.2	Scénario BAU	57
3.2.1.3	Analyse des patterns des pertes simulées du couvert forestier	57
4 CON	CLUSIONS	62



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	16			



LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Cadre général de la modélisation spatialement explicite du risque de déforestation et de dégradation forestière à l'horizon 2035.	23
Figure 1-2: Produit FACET sur une zone de 20 x 20 km dont le coin inférieur gauche se situe aux coordonnées $4,5$ °N $ 19$ °E.	25
Figure 1-3: Produit OFAC sur une zone de 20 x 20 km dont le coin inférieur gauche se situe aux coordonnées 4,5°N – 19°E.	26
Figure 1-4: Donnés de population par Territoire administratif (De Saint Moulin, 2006).	28
Figure 1-5: Réseau routier et hydrographique pour la modélisation de l'accessibilité multimodale et aires protégées.	32
Figure 2-1: Estimations de la répartition spatiale de la population.	35
Figure 2-2: Méthodologie de la modélisation multimodale de l'accessibilité.	36
Figure 2-3:Temps minimum d'accès aux agglomérations et villages importants.	37
Figure 2-4: Matrice des scénarios (CN-REDD, 2011)	39
Figure 2-5: Modélisation de la perte du couvert forestier.	41
Figure 3-1: Comparaison entre la carte FACET pour l'année 2005 et la simulation de conservation de la forêt pour l'année 2035.	45
Figure 3-2: Comparaison entre la carte FACET pour l'année 2005 et la simulation BAU pour l'année 2035.	46
Figure 3-3: Comparaison de la carte FACET et de la simulation BAU pour l'année 2010.	48
Figure 3-4: Comparaison des deux scénarios pour les années 2010 et 2015.	50
Figure 3-5: Comparaison des deux scénarios pour les années 2020 et 2025.	51
Figure 3-6: Comparaison des deux scénarios pour les années 2030 et 2035.	52
Figure 3- 7: Comparaison de la carte FACET 2005 et la simulation BAU pour l'année 2035.	54
Figure 3-8: Comparaison entre la carte FACET pour l'année 2005 et la simulation de conservation de la forêt pour l'année 2035.	56
Figure 3-9: Comparaison entre la carte FACET pour l'année 2005 et la simulation BAU pour l'année 2035.	57
Figure 3-10: Comparaison des résultats des deux scénarios pour les années 2010 et 2015.	59
Figure 3-11: Comparaison des résultats des deux scénarios pour les années 2020 et 2025.	60
Figure 3-12: Comparaison des deux scénarios pour les années 2030 et 2035.	61



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0	Date	30.09.2013
Page	17		



LISTE DES TABLES

Tableau 1-1: Comparaison des produits FACET et OFAC (*Autres pays d'Afrique centrale en traitement)	27
Tableau 1-2: Populations urbaine et rurale et taux de croissance respectifs (FAOSTAT, 2013)	29
Tableau 1-3: Classes d'occupation du sol (Vancutsem et al., 2008) et classes aggrégées	30
Tableau 1-4: Quelques indicateurs du réseau routier de la RDC par province	31
Tableau 2-1: Estimation des densités par classe d'occupation du sol avec les intervalles de confiance (IC) correspondants.	34
Tableau 3-1: Transitions des classes forestières en zones non forestières durant la période 2000-2005. Les superficies sont présentées en km²	44
Tableau 3-2: Comparaison entre la carte FACET 2010 et la simulation BAU pour la même année. Les superfic sont présentées en km²	cies 47
Tableau 3-3: Transitions des classes forestières en zones non forestières durant la période 2000-2005 pour la zone de projet de réduction des émissions du Maï-Ndombe. Les superficies sont présentées en km².	a 55
Tableau 3-4: Projections de la population et estimation de la perte du couvert forestier.	55



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0	Date	30.09.2013
Page	18		



1 INTRODUCTION

Sous le protocole d'accord 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ, la Représentation nationale de la FAO en RDC a chargé l'UCL/ELI_Géomatique d'analyser et simuler les risques de déforestation et de dégradation des forêts en RDC. Les résultats de cette étude doivent aider à l'implémentation du mécanisme REDD+ en RDC, notamment pour la définition des niveaux de référence de déforestation et de dégradation des forêts.

1.1 Objectif

L'objectif principal de cette étude est de modéliser de manière spatialement explicite le risque de déforestation et de dégradation forestière tant au niveau national en RDC que dans la zone projet de réduction des émissions du Maï-Ndombe, sur base des tendances historiques et des scénarios d'évolutions possibles du couvert forestier. Pour la zone de projet de réduction des émissions du Mai-Ndombe, la modélisation s'étend sur cinq Territoires de la RDC : Mushie, Bolobo, Inongo, Kiri et Kutu, dans le Ouest de la RDC.

Trois objectifs spécifiques ont été définis pour cette étude et concernent (1) l'identification et l'élaboration des scénarios, (2) l'identification des données nécessaires à la modélisation spatialement explicite des scénarios identifiés et (3) l'élaboration des cartes de risque de perte du couvert forestier. La modélisation spatialement explicite de la perte du couvert forestier concerne la période 2005-2035. L'année 2035 a été choisie car elle constitue le terme de l'actuelle stratégie nationale REDD+ de la DRC.

1.2 Synthèse bibliographique

Les tendances historiques de l'évolution du couvert forestier en RDC constituent un préalable indispensable pour une simulation spatialement explicite et réaliste du risque de déforestation et de dégradation forestière dans le futur. Du fait de l'immensité du territoire national et des superficies forestières existantes, l'analyse des images satellites est le seul moyen pertinent et efficace pour le monitoring des forêts congolaises (Achard et al., 2010). Les estimations dérivés des données de télédétection doivent à leur tour être comparées à celles provenant des observations de terrain. Cellesci sont cependant extrêmement fragmentaires dans le cas de la RDC (Duveiller et al., 2008; Potapov et al., 2010; Ernst et al., 2013). Ceci est notamment dû à la difficulté de mobilisation des ressources financières nécessaires aux campagnes de terrain devant être menées par les institutions nationales en charge du monitoring des forêts, à l'absence d'infrastructure de transport permettant d'atteindre des zones reculées et à l'insécurité persistante dans certaines parties du pays depuis de nombreuses décennies. Par conséquent, les informations de terrain existantes (Bogart et al., 2008) ne peuvent



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0	Date	30.09.2013
Page	19		



fournir des informations consistantes pour l'ensemble du couvert forestier national. Par ailleurs, les institutions nationales en charge du suivi des forêts par télédétection ne sont pas dotées du matériel adéquat et souffrent parfois d'un manque d'expertise.

Les estimations les plus récentes de l'évolution du couvert forestier en RDC par télédétection sont issues de deux méthodes d'analyse d'images satellite dites *par pixel* (Hansen et al., 2008 ; Lindquist et al., 2008 ; Potapov et al., 2012) et *orientées objet* (Desclée et al., 2006 ; Duveiller et al., 2008, Ernst et al., 2013). Ces deux méthodes sont basées respectivement sur une cartographie exhaustive (*wall-to-wall*) et une analyse d'échantillons d'images satellites systématiquement distribuées à intervalle de 0,5° sur une grille régulière couvrant le territoire national. Ces deux méthodes doivent être combinées en vue d'obtenir des estimations consolidées de la déforestation et de la dégradation forestière, et de dériver les tendances historiques de l'évolution du couvert forestier en RDC. Une telle combinaison constitue cependant un défi important du fait que ces deux approches sont basées sur des méthodes de traitement d'image différentes et utilisent des légendes variées, ce qui aboutit à la détection des processus de changement qui ne sont pas directement comparables et dont les estimations peuvent être interprétées de manière erronée par les utilisateurs finaux.

La combinaison des méthodes par pixel et orientée objet a permis de constituer un historique de 20 ans (1990-2010) d'observation des dynamiques de changement du couvert forestier en RDC, particulièrement pour la déforestation et la dégradation forestière (Defourny et al., 2013). L'analyse de cet historique a montré que les taux annuels bruts de ces deux processus ont pratiquement doublé entre les périodes 1990-2000 et 2000-2005 passant respectivement de 0,15%±0,02% à 0,29%±0,05% et de 0,07%±0,01% à 0,16%±0,03%. Entre les périodes 2000-2005 et 2005-2010, une légère hausse de la déforestation brute (de 0,29%±0,05% à 0,31%±0,09%) ainsi qu'une légère baisse de la dégradation forestière brute (de 0,16%±0,03% à 0,14%±0,04%) ont été observées. Ces dynamiques de changement du couvert forestier sont essentiellement liés aux activités socio-économiques de la population incluant notamment l'agriculture de subsistance ainsi que les besoins énergétiques domestiques (Zhang et al., 2006; Kamusoko et al., 2009; Tollens, 2010; Nackoney et al., 2013). A titre d'exemple, des études récentes ont montré que 87% des ménages à Kinshasa, comptant plus 10 000 000 d'habitants, dépendent quasi-exclusivement du bois-énergie pour la cuisson de la nourriture, et ce taux atteint 95% pour la ville de Kisangani, dont la population est estimée à environ 1 000 000 d'habitants. Pour ces deux villes, le marché du bois-énergie correspond à un volume total de 4,9 millions de m³, équivalant à 12 fois la production ligneuse officielle de la RDC qui est de l'ordre de 400 000 m³ (Schure et al., 2011).

La quantification des moteurs du changement du couvert forestier en RDC (Defourny et al., 2011) a montré que l'expansion agricole, l'accessibilité aux grandes agglomérations et villages importants ainsi que la répartition spatiale de la population étaient positivement corrélées à la déforestation et à la dégradation des forêts. Cependant, la simulation spatialement explicite des évolutions possibles du couvert forestier est entravée par la faible disponibilité des données permettant de quantifier de manière adéquate les différents moteurs identifiés. Ces données doivent donc être préalablement



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0	Date	30.09.2013
Page	20		



rendues disponibles, notamment par le biais des outils de modélisation spatiale. En ce qui concerne la répartition de la population, il est à noter que le dernier recensement général de la population en RDC a eu lieu 1984 avec une population estimée à 30 731 000 d'habitants (Ngondo et al., 1992). Sur base des projections, la population en 2005 a été estimée à près de 60 000 000 d'habitants (De Saint Moulin, 2006). Ces données de population ne sont cependant disponibles qu'à l'échelle des Territoires administratifs correspondant à des entités pouvant s'étendre sur des dizaines de milliers de km², masquant de fait la répartition spatiale de la population. Plus généralement, les limites administratives sont souvent délimitées de manière arbitraire (Crampton, 2004), de sorte qu'elles ne peuvent expliquer la répartition spatiale de la population (Monmonier, 1996; Mennis, 2009). Par ailleurs, les données relatives à la distribution spatiale de la population à l'échelle mondiale, continentale et souscontinentale (Dobson et al., 2000; Deichmann et al., 2001, Salvatore et al., 2005; Tatem et al., 2007) ne fournissent pas une information fiable dans le cas de la RDC et de nombreux pays en voie de développement car elles sont basées sur des hypothèses globales ou régionales, ne traduisant pas de manière adéquate les dynamiques de la répartition de la population à l'échelle nationale (Baker et al., 2012).

Quatre facteurs principaux entravent l'estimation spatialement explicite de l'accessibilité aux agglomérations et villages importants en RDC. Il s'agit (1) des lacunes existantes dans les bases de données numériques du réseau de transport et leur manque d'exhaustivité aussi bien en ce qui concerne le réseau primaire que le réseau secondaire (Blaes, 2009), (2) de la faible disponibilité de données sur l'état du réseau de transport, (3) de l'utilisation conjointe de plusieurs modalités de transport – pied, moto, pirogue, camion – dans un contexte où le réseau de transport est très peu dense et (4) de la nécessité de prendre en compte le fait que les changements possibles entre différentes modalités de transport ne peut être effectuée qu'à des localisations précises correspondant à des infrastructures telles que les bacs, les embarcadères, les ports, etc. La difficulté de cette modélisation est accentuée par l'usage fréquent des pistes en milieu rural ne figurant pas dans les bases de données cartographiques (Perry et Gesler, 2000 ; Tanser et al., 2006 ; Blaes, 2009). A l'instar de la majorité des pays en voie de développement, les pistes rurales doivent être intégrées dans les calculs d'accessibilité car elles représentent une composante importante et/ou une alternative du/au réseau de transport formel qui est souvent de faible qualité (Tanser et al., 2006). En conséquence, les outils classiques de modélisation de l'accessibilité basés sur les distances euclidiennes couplées (ou pas) à des surfaces de coût et qui sont largement utilisés (Brainard et al., 1997; Brainard, 1999; Nelson, 2000; Watts et al., 2003; Tanser et al., 2006; Nelson, 2008), ne sont pas adaptés pour une modélisation réaliste de l'accessibilité en RDC. Il s'avère donc indispensable de construire un cadre adéquat de modélisation de l'accessibilité prenant en compte les éléments suivants :

- Le faible volume du réseau de transport formel et sa moindre qualité (Blaes, 2009);
- L'usage de moyens de transport alternatifs tel que les rivières ou les trajets hors routes correspondant à l'usage des pistes rurales (Tanser et al., 2006);
- Les possibles restrictions relatives au transfert entre différentes modalités de transport qui ne sont pas considérées dans le cadre des modèles classiques basées sur des distances euclidiennes (Nelson 2000 ; 2008) ;



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	21			



- La nécessité d'obtenir une valeur d'accessibilité en tout point de la zone d'étude et non seulement le long des axes de transport ;
- L'étendue de la zone de modélisation pouvant correspondre à des milliers de km² du fait que les problèmes majeurs d'accessibilité en RDC concernent la liaison entre les agglomérations importantes et l'arrière-pays.

En ce qui concerne la modélisation spatialement explicite du risque de déforestation et de dégradation forestière basée sur les moteurs des changements du couvert forestier, celle-ci peut être décomposée en trois composantes inter reliées. Il s'agit de l'estimation de la quantité prédite de changement au fil des simulations, de l'estimation du potentiel de changement et de la répartition spatiale de la quantité totale de changement. La quantité de changement est généralement obtenue à partir de l'évolution historique du couvert forestier, en comparant les changements entre deux cartes de référence correspondant à deux date différentes, t₀ et t₁. Sur base des chaînes de Markov, la comparaison des deux cartes de référence permet de dégager les différents processus de changement (Brown et al., 2000). La quantité prédite de changement peut aussi être dérivée de manière exogène aux données existantes d'occupation du sol, sur base de modèles socio-économiques. Ceux-ci sont pour la plupart basés sur le postulat de Von Thünen stipulant que chaque espace disponible a pour vocation d'être converti en l'usage représentant un profit maximal (Schneider, 1995; Chomitz et Gray, 1996). Différents scénarios peuvent ainsi être élaborées en fonction des informations disponibles quant au contexte politique, social, économique pouvant induire des changements d'occupation du sol (Verburg et al., 2004). Ces scénarios doivent non seulement être construits de manière réaliste et participative (Swetnam et al., 2011), mais aussi être quantifiés en vue de la modélisation ultérieure. Par ailleurs, la définition des scénarios dans un contexte à faible disponibilité de données comme en RDC est d'autant plus complexe du fait de la faible connaissance des dynamiques actuelles, accentuant la difficulté inhérente à prévoir/prédire les évolutions futures. En effet, les scénarios doivent être perçus comme ayant une fonction dualiste de questionnement sur le futur et de planification d'un futur désirable (Xiang et Clarke, 2003).

Le potentiel de changement concerne l'aptitude d'une occupation du sol donnée à être convertie en un autre type en présence des moteurs du changement (Eastman et al., 2005). La détermination de ce potentiel consiste à optimiser la combinaison des variables qui traduisent de manière adéquate les moteurs du changement, de sorte que le potentiel reflète au mieux les changements intervenus durant une période de référence. Cette combinaison optimale est obtenue par le biais de différentes méthodes comprenant la pondération des variables indépendamment les unes des autres, différents types de régressions ainsi que les méthodes d'intelligence artificielle (Pontius et al., 2001; White et Engelen, 2000; Pijanowski et al., 2002; Mas et al., 2004; Eastman et al., 2005). Ces différentes méthodes ont en commun le fait que les changements observés durant une période de référence sont utilisés pour la calibration de la fonction de potentiel de changement. Ces changements sont généralement obtenus en croisant deux cartes de référence correspondant à la période entre t₀ et t₁ afin de discerner les différentes dynamiques de changement intervenues dans le passé, et pouvoir inférer sur les évolutions



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0	Date	30.09.2013
Page	22		



futures dans l'optique d'une évaluation prospective (Mertens et Lambin, 2000 ; Echevarria et al., 2006 ; Eckert et al., 2011).

Le processus d'allocation des changements consiste à localiser spatialement les changements futurs sur base de la quantité totale de changement et du potentiel de changement. Ce processus peut être (1) déterministe en choisissant uniquement les zones présentant le potentiel de changement le plus élevé, (2) stochastique par l'implémentation d'une fonction aléatoire de sélection des zones à fort potentiel de changement ou (3) contraint spatialement de sorte que les changements futurs soient localisés au sein de régions prédéterminées correspondant le plus souvent à des zones tampon autour des variables décrivant les moteurs du changement (Pontius et al., 2001; Pijanowski et al., 2002). Finalement, une carte d'occupation du sol correspondant à une année donnée t₂ permet généralement de valider les prédictions de changement au moyen d'une matrice de contingence.

Dans le cadre de cette étude, la modélisation spatialement explicite du risque de déforestation et de la dégradation forestière va s'appuyer sur quatre piliers identifiés dans la revue de la littérature. Il s'agit de :

- 1. La compilation des variables spatialement explicites traduisant les moteurs de la déforestation et de la dégradation forestière (Sections 1.3 ; 2.1 ; 2.2)
- 2. La construction d'un historique d'évolution du couver forestier : celui-ci sera basée sur l'analyse des estimations les plus récentes de changement du couvert forestier en RDC fournies par Potapov et al. (2012) et Ernst et al. (2013). Cette historique permettra de retracer l'évolution de la déforestation et de la dégradation forestière sur une période de 20 ans, entre 1990 et 2010 (Section 2.1)
- 3. L'identification et la quantification des scénarios d'évolutions possibles du couvert forestier en RDC (Section 2.3)
- 4. L'implémentation du modèle de simulation spatialement explicite du risque de la déforestation et de la dégradation forestière, basé sur une méthode recourant à un réseau de neurones (Section 4).

Les composantes principales du cadre général de la modélisation sont reprises sur la Figure 1-1.



Ref	LOA 00-	IICI 🛆	
Version	1.0	Date 30.09.2013	Université
Page	23		de Louvain UCL-Geomatics, Belgium

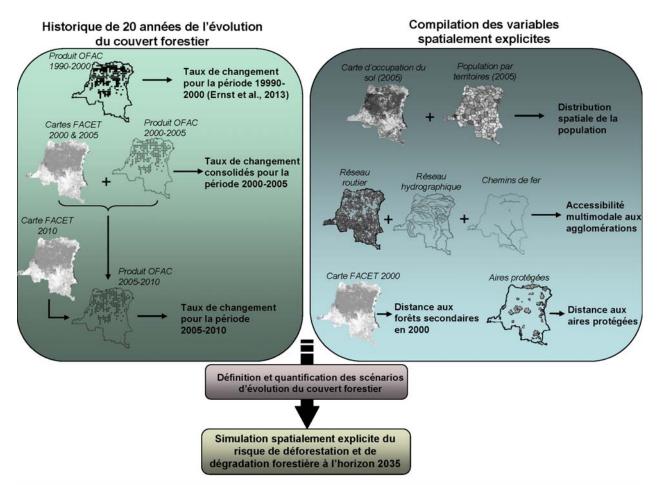


Figure 1-1: Cadre général de la modélisation spatialement explicite du risque de déforestation et de dégradation forestière à l'horizon 2035.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			I
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	24			



1.3 Données disponibles

Les données nécessaires à la modélisation du risque de déforestation et de dégradation forestières ont été compilées dans une base de données métier. Celles-ci sont : le produit FACET (Potapov et al., 2012), le produit OFAC (Ernst et al., 2013), les données de population par Territoire administratif (De Saint Moulin, 2006), une carte d'occupation du sol pour l'année de 2005 (Vancutsem et al., 2008), les réseaux routier et hydrographique de la RDC, ainsi que le réseau d'aires protégées.

1.3.1 Atlas FACET : cartographie exhaustive des forêts et de la perte du couvert forestier en RDC pour la période 2000-2010

L'atlas FACET (Forêts d'Afrique Centrale Evaluées par Télédétection) est basé sur une cartographie exhaustive (*wall-to-wall*) et par pixel de la perte du couvert forestier en RDC pour la période 2000-2010 à une résolution spatiale de 60 m, réalisée dans le cadre de l'Observatoire Satellital des Forêts d'Afrique Centrale (OSFAC). Les résultats de cette cartographie découlent de l'analyse de 8 881 images Landsat ETM+ centrées autour des années 2000, 2005 et 2010. La méthodologie utilisée pour la production de l'atlas FACET (Potapov et al., 2012) comporte quatre étapes principales : (1) le reéchantillonnage des images originales (30 m de résolution spatiale) à une résolution de 60 m, (2) la conversion des valeurs numériques des pixels en valeurs de reflectance au sommet de la canopée, (3) le masquage des nuages et des ombres ainsi que (4) la normalisation radiométrique pour minimiser les variations de reflectances entre paires d'images. Une illustration du produit FACET est présentée à la Figure 1-2 pour une zone couvrant une étendue de 20 x 20 km.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4					
Version	1.0 Date 30.09.2013					
Page	25					



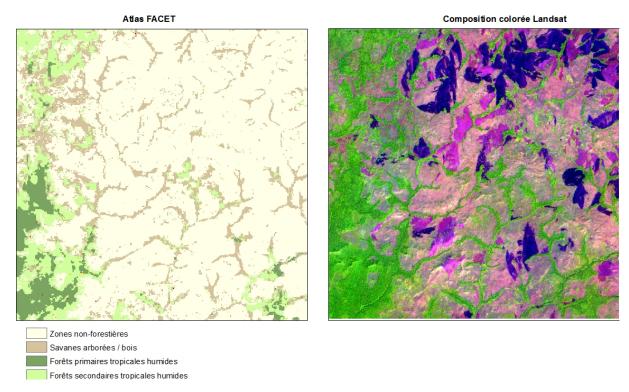


Figure 1-2: Produit FACET sur une zone de 20 x 20 km dont le coin inférieur gauche se situe aux coordonnées $4.5^{\circ}N - 19^{\circ}E$.

Les étendues forestières ont été définies comme toute formation végétale ayant un taux minimal de couverture par la canopée de 30%, au sein de laquelle la hauteur des arbres à maturité est supérieure ou égale à 5 m. Trois types de forêts ont ainsi été définis :

- la forêt primaire tropicale humide : forêt mature ayant un taux minimal de couverture par la canopée supérieur ou égale à 60%
- la forêt secondaire tropicale humide : forêt immature en croissance ayant un taux minimal de couverture par la canopée supérieur ou égal à 60%
- la savane boisée et arborée : couverture forestière ayant un taux minimal de couverture par la canopée compris entre 30 et 60%.

La perte de couvert forestier a été définie comme la transition des classes forestières vers les zones non forestières. La perte annuelle brute de couvert forestier entre 2000-2005 a été estimée à 0,22%, tandis que celle correspondant à la période 2005-2010 a été estimée à 0,25%.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4					
Version	1.0 Date 30.09.2013					
Page	26					



1.3.2 Produit OFAC : estimation des taux de changement du couvert forestier sur base d'un échantillonnage systématique d'images Landsat

Dans le cadre de l'Observatoire des Forêts d'Afrique Centrale (OFAC), une analyse orientée objet de 708 images Landsat TM et ETM+ de 20 x 20 km répartis de manière systématique sur une grille régulière à 0,5° d'intervalle a été conduite afin de dériver les taux annuels de déforestation, dégradation forestière, reforestation et régénération forestière en RDC pour la période 1990-2005. La méthodologie mise en œuvre repose sur quatre étapes principales : (1) le pré-traitement des images (co-registration des images multi-temporelles, calibration des données radiométriques, masquage des nuages et des ombres) ainsi que la pré-interprétation des objets, (2) l'interprétation des objets par des experts nationaux, (3) le calcul des taux annuels de changement de couvert forestier avec les intervalles de confiance correspondant et (4) l'évaluation de la qualité des résultats. Une illustration du produit OFAC est présentée à la Figure 1-3 pour une zone de 20 x 20 km.

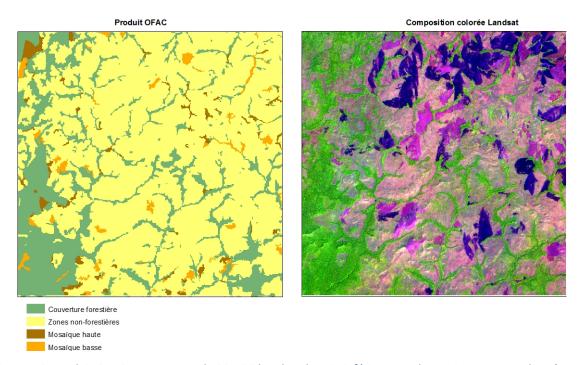


Figure 1-3: Produit OFAC sur une zone de 20 x 20 km dont le coin inférieur gauche se situe aux coordonnées $4,5^{\circ}N - 19^{\circ}E$.

La proportion de couvert forestier au sein de chaque objet délimité a permis de définir trois classes d'occupation du sol :

- la couverture forestière : proportion de couvert forestier supérieure à 30% et la hauteur potentielle des arbres à maturité est supérieure ou égale à 5 m
- la mosaïque haute : la proportion de couvert forestier est comprise entre 40 et 70%



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	1.0 Date 30.09.2013			
Page	27				



- la mosaïque basse : la proportion du couvert forestier est comprise entre 10 et 40%.

La déforestation a été définie comme la transition de la classe forestière ainsi que des deux classes de mosaïque vers des zones non forestières, la reforestation étant le processus inverse. La dégradation forestière correspond quant à elle aux transitions de la classe forestière vers les mosaïques haute et basse, ainsi que la transition de la mosaïque haute vers la mosaïque basse. La régénération forestière est le processus inverse de la dégradation forestière.

Pour la période 1990-2000, les taux annuels de changement de couvert forestier ont été estimés à $0.15\%\pm0.02\%$ pour la déforestation brute, $0.07\%\pm0.01\%$ pour la dégradation forestière brute, $0.04\%\pm0.01\%$ pour la reforestation brute et $0.02\%\pm0.00\%$ pour la régénération forestière brute. Les taux de changement correspondant à la période 2000-2005 sont respectivement de $0.32\%\pm0.05\%$ pour la déforestation brute, $0.16\%\pm0.03\%$ pour la dégradation forestière brute, $0.10\%\pm0.03\%$ pour la reforestation et $0.04\%\pm0.02\%$ pour la régénération forestière brute. Le Tableau 1-1 ci-dessous reprend les éléments caractéristiques majeurs des produits FACET et OFAC.

Tableau 1-1: Comparaison des produits FACET et OFAC (*Autres pays d'Afrique centrale en traitement)

	FACET	OFAC	
1. Zone d'étude	RDC*	Afrique centrale	
2. Type de cartographie	Exhaustive (wall-to-wall)	Echantillonage systématique sur une grille régulière de 0.5° d'intervalle	
3. Données de base	708 scènes Landsat	8 881 scènes Landsat	
4. Période d'étude	2000 – 2005 – 2010	1990 – 2000 – 2005	
5. Analyse d'images	Par pixel	Orientée objet	
6. Unité cartographique élémentaire	Pixel de 60 x 60 m (0,36 ha)	Objet de 5 ha	
7. Classes d'occupation du	Forêt primaire	Couverture forestière	
sol	Forêt secondaire	Mosaïque haute	
	Savane boisée	Mosaïque basse	
	Non forêt	Non forêt	
	Eau	Eau	
8. Détection du changement	Métriques multi- temporelles	Transition de classes par objet entre deux dates	
9. Taux annuel de	Perte de couvert forestier :	Deforestation: 0,32%±0,05%	
changement pour la période	0,22	Degradation : 0,16%±0,03%	



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4					
Version	1.0 Date 30.09.2013					
Page	28					



	FACET	OFAC
2000 – 2005		Reforestation: 0,10%±0,03%
		Régénération : 0,04%±0,02%
Validation du produit final	ND	Experts nationaux

1.3.3 Population par Territoire administratif

Les données de population par Territoire administratif ont été compilées sur base des informations fournies par De Saint Moulin (2006). Il s'agit des projections à partir des données du recensement général de la population en 1984, ajustés en tenant compte de la situation politique du pays et corrélés à l'enrôlement des électeurs en 2005. Ces données ont l'avantage d'être désagrégés à l'échelle des entités administratives (Figure 1-4), permettant ainsi la spatialisation de la population à une échelle plus fine.

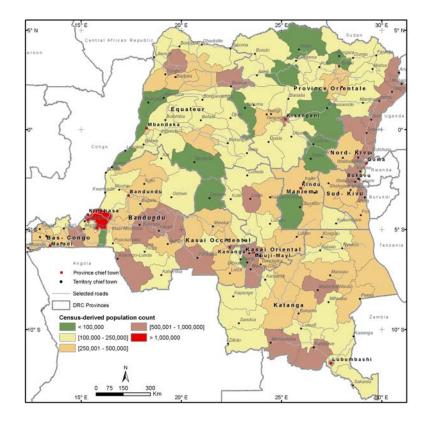


Figure 1-4: Donnés de population par Territoire administratif (De Saint Moulin, 2006).

Cependant, les données fournies par De Saint Moulin (2006) ne permettent pas d'établir une distinction entre la population urbaine et la population rurale. Cette distinction est essentielle en vue de simuler la demande en terres agricoles pour l'agriculture paysanne qui permet d'approvisionner les grandes agglomérations du pays. La population urbaine ainsi que la population rurale avec leurs taux



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4					
Version	1.0	1.0 Date 30.09.2013				
Page	29					



de croissance respectifs ont été extraits pour chaque année de simulation de la base de données de la FAO¹.

Tableau 1-2: Populations urbaine et rurale et taux de croissance respectifs (FAOSTAT, 2013)

Année	TAUX ANNUEL MOYEN DE CROISSANCE DE LA POP. URBAINE (%)	POP. URBAINE (X 10 ⁶ HABITANTS)	TAUX ANNUEL MOYEN DE CROISSANCE DE LA POP. RURALE (%)	POP. RURALE (X 10 ⁶ HABITANTS)
2005		18 436		38 985
2010	4,724	23 232	2,042	42 734
2015	4,640	28 999	1,668	46 191
2020	4,383	35 747	1,418	49 307
2025	4,104	43 459	1,148	51 907
2030	3,806	52 086	0,861	53 871
2035	3,513	61 560	0,575	55 134

1.3.4 Carte d'occupation du sol pour l'année 2005

Une carte d'occupation du sol pour l'année 2005 a été produite par Vancutsem et al. (2008) à une résolution spatiale d'1 km, basée sur des analyses multi-temporelles et multi-spectrales d'images du capteur SPOT VEGETATION. Dans le cadre de cette étude – notamment pour la modélisation de la répartition spatiale de la population –, la classe urbaine a été extraite des données Africover dérivées de l'interprétation visuelle des images Landsat à 30 m de résolution spatiale (Latham, 2001). En effet, la résolution du capteur SPOT VEGETATION ne permet pas de discerner les petites agglomérations de la RDC qui ne s'étendent parfois que sur quelques km². Le Tableau 1-3 résume les différentes classes cartographiées et qui ont été agrégées en six catégories différentes en vue d'établir une relation statistique entre les classes d'occupation du sol ainsi que les données de population à l'échelle des Territoires administratifs. Ces six catégories correspondent aux zones (1) urbaines, (2) d'agriculture intensive, (3) d'agriculture extensive, (4) de forêts de montagne, (5) de savane et (6) d'occupation de sol diverses pouvant être considérées comme correspondant à des faibles densité de population, sur base d'observations préliminaires et de résultats de tests statistiques. Ces dernières zones regroupent notamment les forêts secondaires jeune et vieilles, les savanes herbeuses, la forêt dense humide tropicale, etc.

¹ http://faostat.fao.org/?lang=en (consulté le 20 août 2013)



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0 Date 30.09.2013				
Page	30				



Tableau 1-3: Classes d'occupation du sol (Vancutsem et al., 2008) et classes aggrégées

CLASSE	SUPEFFICIE (KM²)	%	CLASSE	SUPERFICIE (KM²)	%
Savanne aquatique	1 863	0,08	Savane arbustive	132 319	5,68
Urbain	5 407	0,23	Forêt édaphique	137 537	5,90
Forêt de montagne	6 602	0,28	Forêt claire (Miombo)	154 508	6,63
Agriculture	14 568	0,62	Forêt secondaire jeune	155 487	6,67
Forêt submontagnarde	32 638	1,40	Savane arborée	171 760	7,37
Savanne boisée	45 893	1,97	Savane herbeuse	176 006	7,55
Complexe rural	65 708	2,82	Mosaïque savanne steppique – agriculture	314 780	13,51
Mosaïque forêt-savane	84 682	3,64	Forêt dense humide	703 643	30,20
Forêt secondaire jeune	126 168	5,42			
CLASSES AGRÉGÉES					
Urbain	5 407	0,23	Agriculture extensive	65 708	2,82
Agriculture intensive	14 568	0,63	Savane	575 468	24,70
Forêt de montagne	39 240	1,68	Forêt de montagne	1 474 589	69,30

1.3.5 Les réseaux routier et hydrographique

Le réseau routier de la RDC (Figure 1-5) utilisé dans le cadre de cette étude est une combinaison des bases de données du World Resources Institute (WRI)² et de celle de l'UCL\ELI_Géomatique (Vancutsem et al., 2007). La longueur totale du réseau incluant les pistes et les sentiers atteint près de 326 200 km. La densité du réseau est très faible par rapport aux dimensions gigantesques du pays, tel qu'illustré dans le Tableau 1-4 qui reprend la densité du réseau routier pour quelques Provinces de la RDC comparées à des pays développés de taille identique. Près de 17% du réseau routier peut être considéré comme étant en bonne condition, 28% de condition moyenne et 55% en mauvaise condition. Les sentiers ainsi que les pistes d'exploitation forestière ont été inclus dans la modélisation car ils contribuent à l'ouverture des blocs forestiers conduisant à la progression du front agricole au sein des forêts intactes (Makana et Thomas, 2006).

² http://www.wri.org/publication/interactive-forest-atlas-democratic-republic-of-congo (consultée le 20 août 2013)



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4					
Version	1.0 Date 30.09.2013					
Page	31					



Tableau 1-4: Quelques indicateurs du réseau routier de la RDC par province

PROVINCE RDC / PAYS DÉVELOPPÉ	SUPERFICIE (x 10 ³ km ²)	POPULATION (2005) (x 10 ⁶ HABITANTS)	Densité du réseau routier (km/km²)
	,	,	, , ,
Bas-Congo / Croatie	54 / 56	3,35 / 4,44	0,14 / 0,52
Sud-Kivu / Irlande	64 / 69	4,68 / 4,11	0,05 / 1,37
Bandundu / Italie	297 / 294	6,39 / 58,46	0,11 / 1,62
Equateur / Suède	402 / 410	6,31 / 9,01	0,06 / 1,28

Pour la modélisation multimodale de l'accessibilité aux agglomérations et villages importants (Section 2.2), certains tronçons du réseau routier ont été prolongés jusqu'à 30 km de longueur en vue d'intégrer le réseau de transport de la RDC dans les corridors régionaux de transport d'Afrique Centrale (Gun Wang et al., 2009). Le corridor Ouest est la connexion entre Kinshasa et Brazzaville permettant de connecter la RDC au port en eau profonde de Pointe Noire en République du Congo. Le corridor Sud-Ouest correspond au chemin de terrain reliant la Province du Katanga au port de Lobito en Angola, tandis que le corridor Sud est la liaison entre la ville de Lubumbashi et le port de Durban en Afrique du Sud en passant par Lusaka en Zambie, Harare au Zimbabwe et Johannesbourg en Afrique du Sud. Le corridor Est est la connexion entre la ville de Butembo et le port de Mombasa au Kenya en traversant l'Ouganda. Ces différents corridors constituent des axes majeurs de transport au niveau régional pouvant avoir un impact sur l'exploitation des ressources naturelles de la RDC.

Le réseau hydrographique (Figure 1-5) a été extrait de la base de données de l'UCL\ELI_Géomatique (Vancutsem et al., 2007) et est constitué des rivières navigables. Les bacs ainsi que les ports ont été intégrés comme des éléments ponctuels de transfert entre les réseaux routier et hydrographique afin de construire un réseau multimodal. L'exactitude planimétrique de ces deux réseaux a été validée sur fond d'images satellites Landsat permettant ainsi d'atteindre une précision correspondant aux standards cartographiques pour la réalisation des cartes au 1:50 000. La validation topologique des données routes et rivières a permis de construire un réseau multimodal fonctionnel au niveau national permettant d'implémenter des analyses réseau avancées incluant le calcul des temps de parcours, les isochrones autour des points d'intérêt, le calcul des itinéraires préférentiels, les matrices origine-destination, etc. et de procéder à des mesures de référencement linéaire (Curtin et al., 2007).

1.3.6 Les aires protégées

Les fichiers géographiques des aires protégées utilisés pour la modélisation (Figure 1-5) ont été obtenues de OFAC et correspondent aux Sites du Patrimoine Mondial de l'Unesco. Il s'agit des parcs nationaux de la Salonga, des Virunga, de Kahuzi-Biega et de la Garamba. D'autres aires protégées au sein desquelles il existe des activités de monitoring ont aussi été inclues. Il s'agit notamment de la



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0	Date	30.09.2013
Page	32		



Réserve de Biosphère de Luki dans le Bas-Congo et de la Réserve de Faune de la Lomako dans le Nord-Est de la RDC.

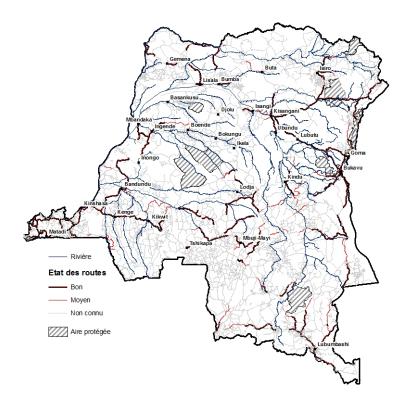


Figure 1-5: Réseau routier et hydrographique pour la modélisation de l'accessibilité multimodale et aires protégées.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0 Date 30.09.2013		30.09.2013	
Page	33			



2 MODÉLISATION DU RISQUE DE LA DÉFORESTATION ET DE LA DÉGRADATION FORESTIÈRE

La méthodologie mise en œuvre comporte quatre composantes (Figure 1-1) : (1) la modélisation de la distribution spatiale de la population, (2) la modélisation de l'accessibilité multimodale aux agglomérations et villages importants, (3) l'identification et la quantification des scénarios d'évolutions possibles du couvert forestier, ainsi que (4) la simulation du risque de déforestation et de dégradation forestière proprement dite.

2.1 Modélisation de la distribution spatiale de la population

La modélisation de la distribution spatiale de la population est basée sur l'établissement d'une relation entre la population totale au sein d'une entité administrative (= Territoire) et les superficies correspondantes de chaque classe d'occupation du sol. Cette relation est sous la forme d'une régression linéaire simple, tel que présenté ci-dessous :

$$y_i = \underbrace{\beta_1 x_{i1} + ... + \beta_k x_{ik}}_{\hat{y}} + \varepsilon_i \qquad \forall i = 1,..., n$$

Où y_i est la population totale au sein de chaque entité administrative i, β_k représente la densité de population par classe d'occupation du sol (hab/km²), x_i correspond à la superficie de chaque entité administrative, et n est le nombre total d'entités administratives.

Etant donné que la régression linéaire ne vise qu'à minimiser la somme des carrés des résidus, il n'existe aucun contrôle pour faire correspondre la quantité totale de la population nationale à celle obtenue en sommant les estimateurs \hat{y} . Ce contrôle peut être introduit par le biais de contraintes aussi bien pour le total de la population que pour des connaissances à priori sur la distribution spatiale de la population. Deux contraintes ont ainsi été implémentées et se rapportent à la population totale (de sorte que $\sum y_i = \sum \hat{y}$) et à la proportion de la population totale vivant en milieu rural qui est de 70% (Herderschee et al., 2012), de sorte que la population urbaine soit contrainte par le modèle à correspondre à 30% de la population totale.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0	Date	30.09.2013
Page	34		



L'usage de la régression contrainte a permis de dériver des valeurs de densité de population pour chaque type d'occupation du sol (Tableau 2-1). Un des avantages de cette méthode est de pouvoir fournir un intervalle de confiance pour les valeurs de densité par classe d'occupation du sol en lieu et place d'une valeur unique tel qu'observé pour tous les produits de distribution spatiale de la population (Dobson et al., 2000 ; Deichmann et al., 2001, Salvatore et al., 2005 ; Tatem et al., 2007). Les intervalles de confiance permettent ainsi de générer plusieurs cartes plausibles de la distribution spatiale de la population plutôt qu'une unique réalisation. Ces différentes cartes peuvent ainsi permettre de construire des intervalles de confiance pour chaque maille de la grille de répartition de la population.

Tableau 2-1: Estimation des densités par classe d'occupation du sol avec les intervalles de confiance (IC) correspondants.

CLASSE	DENSITÉ ESTIMÉE	IC 2,5%	IC 97,5%
Urbain	4 393	3 526	5 260
Agriculture intensive	324,30	135,01	513,59
Agriculture extensive	145,00	74,11	217,89
Forêt de montagne	93,57	48,48	138,66
Savanne	25,42	17,39	33,44
Autres classes	1,90	-1,78	5,59

Ces estimations de densité par classe ont permis de cartographier la répartition spatiale de la population en RDC (Figure 2-1). Sur la Figure 2-1, les zones hachurées correspondent à la capitale Kinshasa et à la ville de Moanda, qui n'ont pas été prises en compte dans le processus de modélisation. Dans le premier cas, il s'agit d'une zone urbaine dont la dynamique de population ne peut être modélisée à partir d'un modèle national. Dans le second cas, l'analyse a montré des incohérences entre le type de classe d'occupation du sol dans cette agglomération et la quantité importante de population. Le fait que Moanda soit une ville côtière avec des zones classées par l'analyse d'images satellites comme étant inondées ou inondables (et par conséquent avec des densités de population faible selon la logique de la modélisation réalisée) pourrait expliquer les incohérences constatées.

Les densités de population obtenues montrent que la classe urbaine a, comme attendu, la valeur de densité la plus élevée (autour de 4 000 hab/km² en moyenne) suivi par les zones d'agriculture intensive (324 hab/km²) correspondant aux agglomérations et villages importants en milieu rural non détectés par l'analyse des images SPOT VEGETATION (Vancutsem et al., 2008). La classe agriculture extensive (145 hab/km²) représente quant à elle les zones situées le long du réseau routier et des pistes, correspondant à des lieux à forte activité anthropique. La classe de forêt de montagne a une densité moyenne de près de 100 hab/km², correspondant aux zones densément peuplées de l'Est



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	35			



du pays. Les zones correspondant à la forêt dense tropicale humide, aux forêts secondaires exhibent la plus faible densité de l'ordre de 2 hab/km².

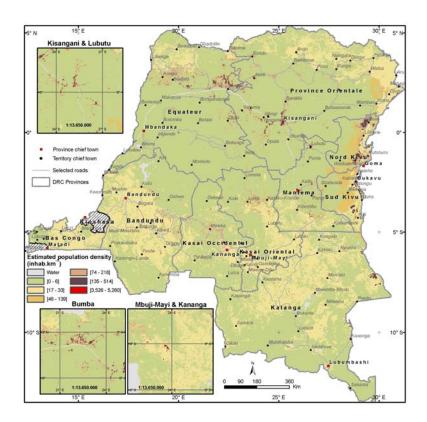


Figure 2-1: Répartition spatiale de la population.

2.2 Modélisation de l'accessibilité multimodale

La modélisation de l'accessibilité multimodale est basée sur la méthodologie développée par Kibambe et al. (2013), qui a été appliquée à tout le territoire national. Cette modélisation vise à simuler de la manière la plus réaliste possible l'usage conjoint des routes et des rivières ainsi que des voies de transport alternatives (pistes) par les populations locales en vue d'accéder aux agglomérations importantes pour divers besoins tel que l'accès aux marchés, aux centres de santé, aux services administratifs, etc. La modélisation comporte essentiellement trois étapes :

1. la résolution du réseau multimodal : celle-ci nécessite un algorithme d'analyse réseau (ArcGIS Network Analyst dans ce cas-ci) dont les données d'entrée sont un réseau multimodal topologiquement validé, des points de destination ainsi que des points de transfert



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0	Date	30.09.2013
Page	36		



entre les différentes modalités de transport. Près de 165 agglomérations et villages importants ont été inclues dans la modélisation comme étant des destinations potentielles. Celles-ci ont été sélectionnées sur la base de leur population en 2005 (> 50 000 habitants) et ont donc été considérées comme des lieux à forte activité humaine où sont concentrés divers services tels que les hôpitaux, les écoles, les centres de santé, etc. L'analyse du réseau multimodal permet d'obtenir le temps minimal vers la destination la plus proche en tout point des axes du réseau ;

- 2. Le transfert du temps minimal obtenu de l'étape 1 vers les unités de simulation : un maillage hexagonal a été utilisé comme unité d'analyse en vue d'obtenir un temps minimal d'accès à la destination la plus proche en tout point de la zone d'étude, sur base du temps réseau (sur les axes de transport) et des impédances de l'occupation du sol à traverser afin de simuler l'usage des pistes. L'effet directionnel de la pente a été pris en compte, aussi bien pour le relief que pour les rivières ;
- 3. L'incrémentation du temps minimal à travers la zone d'étude sur base d'un algorithme itératif développé par Kibambe et al. (2013) permettant par effet de voisinage d'obtenir le temps minimal vers la destination la plus proche pour tous les hexagones du maillage.

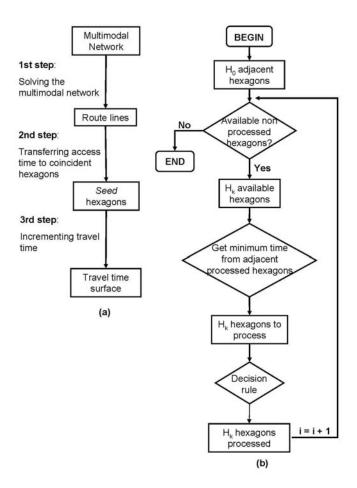


Figure 2-2: Méthodologie de la modélisation multimodale de l'accessibilité.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	37			



Le résultat de la modélisation est une surface dont la valeur de chaque cellule correspond au temps minimum d'accès à la destination la plus proche sur base de la vitesse de parcours sur le réseau et hors-réseau. Cette modélisation réaliste de l'accessibilité a permis de déterminer que les zones les plus reculées se trouvent à un minimum de trois jours (Figure 2-3) des agglomérations et villages importants choisis comme destinations potentielles.

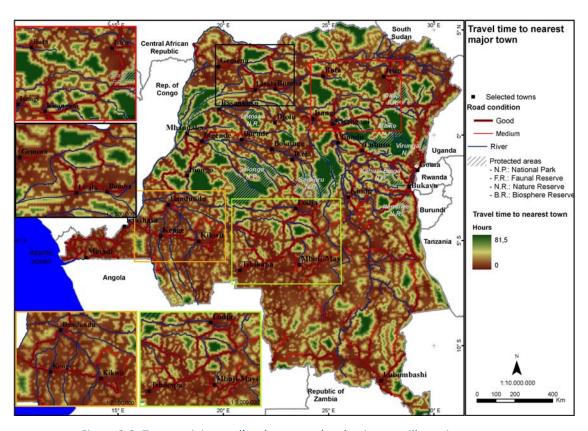


Figure 2-3 :Temps minimum d'accès aux agglomérations et villages importants.

2.3 Identification et quantification des évolutions possibles du couvert forestier

La définition des scénarios d'évolution du couvert forestier en RDC s'avère être un processus participatif complexe nécessitant la contribution de secteurs variés, incluant entre autre l'agriculture, l'exploitation minière, la conservation de la nature, le développement rural, l'aménagement du territoire, etc. Ce processus vise notamment à identifier les moteurs (internes et/ou externes) de l'évolution du couvert forestier, leur impact sur la réduction ou l'extension des superficies forestières, ainsi que les interactions entre ces différents facteurs pouvant amplifier ou restreindre certains processus de changement du couvert forestier. Au-delà du caractère narratif des scénarios, il est indispensable de quantifier l'effet des différents moteurs de changement afin de dégager une



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	1.0 Date 30.09.2013		
Page	38			



estimation de la perte (ou du gain) des surfaces forestières dans le futur. Cependant, les scénarios sont entachés d'une incertitude liée à l'anticipation des évolutions futures qui sont par nature inconnues (Xiang et Clarke, 2003; Swetnam et al., 2011). Cette incertitude est d'autant plus importante lorsque le contexte de la modélisation est caractérisé par une faible disponibilité de données de base, comme c'est le cas pour la RDC.

Les différents Groupes de Coordination Thématique (GCT) rattachés à la CN-REDD et ayant en charge un domaine spécifique en lien avec les dynamiques de déforestation et de dégradation forestière en RDC (agriculture paysanne, activité minière, aménagement territorial, infrastructures, etc.) ont défini de manière participative quatre scénarios d'évolution possible du couvert forestier, basés sur les concepts d'économie verte et de développement (CN-REDD, 2013). Ces scénarios narratifs sont à la fois simplifiés et utiles comme point départ pour la construction de scénarios plus élaborés dans le contexte spécifique de la RDC. Cependant, l'usage de ces scénarios dans un modèle spatialement explicite de simulation de la perte du couvert forestier reste limité suite à la non quantification et à la non spatialisation des différentes composantes des scénarios. La consolidation ultérieure des scénarios ainsi définis est donc indispensable en vue de fournir des indicateurs chiffrés pouvant traduire les pertes ou les gains des surfaces forestières dans le futur. Par ailleurs, les moteurs externes – actuels et futurs – de la perte du couvert forestier en RDC n'ont pas été intégrés dans les scénarios proposés, étant donné la difficulté actuelle de pouvoir les quantifier avec précision (Megevand et al., 2013).

Ainsi, quatre scénarios d'évolution du couvert forestier de la RDC ont été définis, sur base de deux piliers que sont la gouvernance et la valorisation des services environnementaux (CN-REDD, 2011). Ces piliers ont été préférés à des hypothèses de croissance économique et de niveau des cours des matières premières ainsi que des crédits carbone en raison de leur caractère extrêmement spéculatif. Ces quatre scénarios ont été construits sous forme d'une matrice de valorisation de l'un et/ou l'autre pilier et sont présentés à la Figure 2-4.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	39	•			



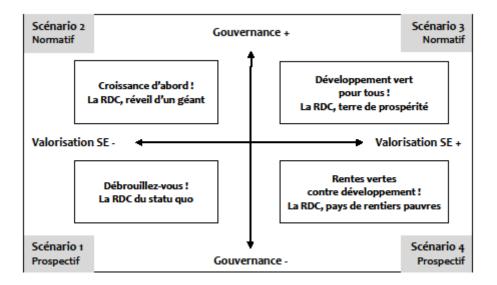


Figure 2-4: Matrice des scénarios (CN-REDD, 2011)

Les scénarios 1 et 3 se présentent comme des évolutions diamétralement opposées. Le scénario 1 est découle d'une faible gouvernance ainsi qu'une absence de valorisation des services environnementaux et s'apparente à un scénario BAU dans le cas de la RDC. Le scénario 3 se présente comme le scénario le plus équilibré où les financement verts constituent des leviers de renforcement de la gouvernance et d'une croissance durable. Les scénarios 2 et 4 se présentent comme des évolutions intermédiaires, dans un cas (scénario 2) sans le levier des ressources pour valoriser les services environnementaux (mais avec une bonne gouvernance) et dans l'autre cas (scénario 4) avec le levier des services environnementaux (mais sans bonne gouvernance).

Ces scénarios narratifs fort bien documentés (CN-REDD, 2011) manquent cependant de données quantitatives et spatialement explicites pouvant aider à la modélisation des évolutions futures du couvert forestier. Par ailleurs, la quantification des scénarios est un exercice colossal du fait de l'incertitude liée aux évolutions futures (Xiang et Clarke, 2003; Swetnam et al., 20211), notamment dans un contexte à faible disponibilité de données de base comme en RDC. Etant donné les nombreuses imprécisions liés à la quantification et à la spatialisation des scénarios tels que définis par les GCTs ainsi que le peu de données disponibles, deux scénarios réalistes et non spéculatifs ont été retenus pour la simulation des risques de déforestation et de dégradation forestière en RDC. Il s'agit du scénario business-as-usual (BAU) et du scénario de conservation de la forêt. Dans le cadre de la modélisation spatialement explicite de la déforestation et de la dégradation forestière, ces scénarios visent à estimer la quantité totale de perte de couvert forestier à l'horizon 2035.

2.3.1 Scénario de conservation de la forêt

Ce scénario vise à simuler l'effet des politiques de réduction de l'impact des activités humaines sur le couvert forestier en projetant les futures pertes du couvert forestier sur la base des dernières



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	1.0 Date 30.09.2013		
Page	40			



estimations disponibles. Un tel scénario suppose la mise en place de stratégies de planification d'usage des terres à l'échelle nationale, de développement de l'agriculture sur base de techniques maintenant la fertilité des sols à long terme afin de limiter la progression du front agricole en terres forestières, ainsi que la promotion d'initiatives visant une gestion durable des ressources forestières. Ces politiques pourraient être mises en œuvre dans le cadre d'initiatives telles que les projets REDD+. Pour le scénario de conservation de la forêt, la quantité totale de perte du couvert forestier durant la période de référence 2000-2005 extraite du produit FACET a été répercutée pour toutes les simulations annuelles jusqu'en 2035.

2.3.2 Scénario BAU

Le second scénario est une évolution BAU comportant une simulation de la croissance démographique à l'horizon 2035. L'estimation de la perte totale du couvert forestier pour chaque année de simulation est basée sur le total de la population rurale pour l'année correspondante, auquel correspond un besoin de 0.25 ha de terre agricole par ménage agricole (Tollens, 2010). Les projections de la population rurale et urbaine à l'horizon 2035 ont été extraites de la base de données de la FAO (http://www.faostat.org/). Ce scénario simule les pertes de couvert forestier pouvant résulter de la continuité des pratiques agricoles actuelles aussi bien en terme de production qu'en terme de commercialisation.

D'autres scénarios plus spéculatifs pourraient être définis et quantifiés mais nécessitent un supplément de données de base qui ne sont pas encore disponibles à l'échelle nationale pour la RDC. Les deux scénarios définis constituent par contre des repères objectifs pouvant permettre de mettre en évidence les zones critiques sur base desquels une réflexion sur la gestion durable des ressources forestières peut être amorcée de manière réaliste.

2.4 Modélisation spatialement explicite de la perte du couvert forestier

La modélisation de la perte du couvert forestier mise en œuvre comporte trois aspects : (1) la quantification de la perte totale estimée pour chaque année de simulation, (2) la détermination du potentiel de changement et (3) l'allocation spatiale de la quantité totale de changement. A ces trois aspects s'ajoutent une étape initiale de préparation des données, notamment des cartes d'occupation du sol devant servir à la calibration du modèle, ainsi qu'une étape finale de validation du modèle. Le cadre général de la modélisation de la perte du couvert forestier est présenté à la Figure 2-5.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	41			



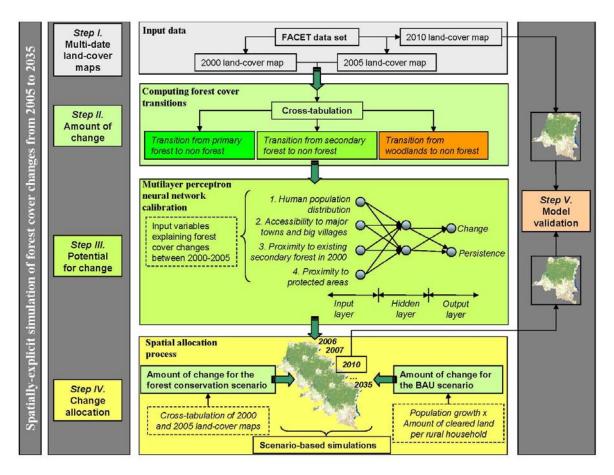


Figure 2-5: Modélisation de la perte du couvert forestier.

2.4.1 Compilation des cartes de référence

Les cartes d'occupation du sol des années 2000 et 2005 ont été extraites du produit FACET et reéchantillonnées à une résolution spatiale d'1 km, correspondant à la résolution des cartes de la répartition spatiale de la population (Figure 2-1) et de l'accessibilité multimodale aux agglomérations et villages importants (Figure 2-3). Le croisement de ces deux cartes d'occupation du sol a permis d'établir les différents types de changement de couvert forestier à modéliser. Ces derniers correspondent aux transitions entre les classes forestières du produit FACET (forêt primaire, forêt secondaire et savane boisée - Section 1.3.1) vers des zones non forestières.

2.4.2 Estimation de la quantité de changement

Pour le scénario de conservation de la forêt, la quantité totale de changement pour chaque transition identifiée entre les années 2000 et 2005 a été obtenue en croisant les cartes d'occupation du sol correspondant à ces deux années. Les superficies changées ainsi obtenues ont permis d'estimer les pertes annuelles de couvert forestier pour chaque type de changement, afin de simuler les pertes futures jusqu'à l'horizon 2035. Pour le scénario BAU, la quantité totale de changement a été simulée



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	1.0 Date 30.09.2013			
Page	42				



sur base de la croissance démographique et du besoin correspondant en terres agricoles pour l'agriculture de subsistance.

2.4.3 Estimation du potentiel de changement

L'estimation du potentiel de changement est basé sur un réseau de neurones (*MultiLayer Perceptron Neural Network* – MLPNN) calibré à l'aide des changements de couvert forestier entre 2000 et 2005. Cette méthode d'estimation du potentiel de changement a été préférée à d'autres méthodes existantes du fait de ses meilleures performances (Eastman et al., 2005). Le MLPNN est en effet le plus répandu des réseaux de neurones, permettant de formuler mathématiquement la relation entre plusieurs variables d'entrée et des variables de sortie. Le réseau de neurones fonctionne sur base d'un apprentissage itératif jusqu'à l'obtention de la relation la plus adéquate. Le MLPNN a été implémenté grâce au module *Land Change Modeler* du logiciel IDRISI Taiga.

Les données d'entrée utilisées sont la distribution spatiale de la population, l'accessibilité multimodale aux agglomérations et villages importantes, la distances aux aires protégées ainsi que la distance aux forêts secondaires existant en 2000. La variable de sortie est constituée des pixels changés (transition de classe forestière vers la classe non forêt) ainsi que inchangés entre les années 2000 et 2005. Une proportion de ces pixels sert à la calibration du modèle et une autre à l'estimation de l'erreur du modèle mathématique calculée par le réseau de neurone. Lorsque cette erreur devient négligeable ou acceptable, le processus d'apprentissage du réseau de neurones arrive à terme et une carte de potentiel de changement est produite. Celle-ci représente les zones les plus susceptibles d'être converties en zones non forestières sur base des variables utilisées et qui traduisent les moteurs de la déforestation et de la dégradation des forêts en RDC.

2.4.4 Allocation spatiale des changements

L'allocation des changements est basée sur un principe simple consistant à allouer les quantités prédites de perte du couvert forestier à partir des zones à potentiel élevé. De manière itérative, les pixels de savane, forêt primaire et forêt secondaire sont sélectionnés par ordre décroissant de leur valeur de potentiel de changement en non forêt jusqu'à atteindre le nombre de pixels correspondant à la quantité totale de changement (Section 2.4.2).



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	43				



3 RÉSULTATS

Les résultats de la simulation de perte du couvert forestier entre 2000 et 2035 sont présentés pour le modèle national et pour le modèle décliné à l'échelle de la zone de de projet de réduction des émissions du Mai-Ndombe.

3.1 Résultats du modèle national

3.1.1 Evaluation des variables du modèle de simulation

La distribution spatiale de la population en RDC a permis d'estimer qu'environ 62% des changements du couvert forestier entre 2000-2005 correspond aux zones de faible densité de population (0-6 hab/km²). Environ 20% de ces changements ont été détectées dans les zones de complexe rural caractérisées par une densité de population comprise entre 74-218 hab/km². Cependant, moins d'1% des pertes de couvert forestier entre 2000-2005 ont été observées dans les zones urbaines pour lesquelles la densité moyenne de population a été estimée à environ 4 400 hab/km². Par ailleurs, 70% de ces changements ont été détectés dans des zones situées à 7 heures de l'agglomération la plus proche. En RDC, cette durée correspond au temps moyen journalier d'un trajet aller-retour entre les villages et les marchés. Cette dernière observation démontre le réalisme de l'accessibilité multimodale tel qu'implémentée par Kibambe et al. (2013) en lieu et place des variables de proximité largement utilisés dans de nombreux modèles de prédiction des changements d'occupation du sol. En effet, ces modèles de proximité ne tiennent pas compte des spécificités du réseau de transport et de la possibilité de recourir à différents modes de transport différents (à pied, par route, par pirogue, etc.) – comme c'est le cas dans les zones rurales en RDC – en vue d'atteindre la ville (ou le centre d'activités) la (le) plus proche.

L'apprentissage du réseau de neurones a montré que seul trois variables d'entrée (l'accessibilité aux agglomérations, la distance aux forêts secondaires et aux aires protégées) sur les 4 utilisées contribuaient significativement à expliquer la répartition des changements dans le jeu des données de calibration. Ceci confirme bien que **la modélisation de la quantité de changement** (qui dépend majoritairement de la quantité de population dans le cas de la RDC car l'agriculture de subsistance est un des principaux moteurs de la déforestation et de la dégradation des forêts) **doit être implémentée indépendamment de la spatialisation du changement** (qui dépend des facteurs agissant sur la proximité entre les ressources forestières et les lieux de *consommation* que sont les agglomérations et villages importants). Ce résultat démontre à nouveau le réalisme de la modélisation mise en œuvre et confirme les résultats de Defourny et al. (2011) mettant en exergue le rôle de la population pour la quantification des moteurs de la déforestation et de la dégradation des forêts en RDC. Les résultats de



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013	Ì	
Page	44				



la modélisation montrent aussi que les aires protégées contribuent à l'atténuation de la perte du couvert forestier.

3.1.2 Simulation de la quantité totale de perte du couvert forestier

Pour le scénario de conservation de la forêt, les pertes annuelles de couvert forestier ont été calculées sur base de la perte totale du couvert forestier en RDC obtenue des cartes FACET pour les années 2000 et 2005 (Tableau 3-1). La perte totale de couvert forestier entre 2005 et 2035 a été estimée à 17 524 km² se répartissant en perte de savane boisée (1 971 km² - 11,25%), forêt primaire (3 701 km² - 21,12%) et forêt secondaire (11 852 km² - 67,63%).

Tableau 3-1: Transitions des classes forestières en zones non forestières durant la période 2000-2005. Les superficies sont présentées en km²

	Année 2005			
Année 2000	Zone non forestière	Savanne boisée	Forêt primaire	Forêt secondaire
Zone non forestière	687 456	ND	ND	ND
Savane boisée	1 971	365 720	ND	ND
Forêt primaire	3 701	0	1 040 620	ND
Forêt secondaire	11 852	0	0	170 950

Pour le scénario BAU, la perte du couvert forestier a été estimée sur base de l'évolution démographique. En partant de l'hypothèse que chaque ménage agricole rural a besoin d'une superficie équivalente à 0,25 ha de terres forestières (Tollens, 2010) sur un cycle de 5 ans. En considérant que la population rurale de la RDC correspond à environ 70% de la population totale (De Saint Moulin, 2005) et que l'activité agricole de 30% de la population rurale a un impact direct sur l'étendue des superficies forestières, la perte totale du couvert forestier pour la période 2005-2010 a été estimée 29 238 km².

3.1.3 Répartition spatiale des pertes du couvert forestier

Les pertes du couvert forestier ont été modélisées à une résolution spatiale de 1 km sur base d'un modèle permettant de spatialiser la quantité de perte totale estimée en fonction des deux scénarios. Les zones ayant un potentiel élevé de perte du couvert forestier ont été estimées sur base d'un réseau de neurones dont l'apprentissage est basé sur les variables d'entrée suivantes : l'accessibilité multimodale aux agglomérations et villages importants, la présence des aires protégées ainsi que la présence des forêts secondaires pour l'année 2000. Les Figures 3-1 et 3-2 comparent la situation en 2005 avec celle résultant de l'application du modèle de perte de couvert forestier à l'horizon 2035, sur base des deux scénarios retenus. En outre, ces scénarios peuvent être comparés l'un à l'autre car ils sont basés sur la même estimation du potentiel de changement et ne diffèrent que par la quantité prédite de déforestation et de dégradation forestière pour les différentes années de simulation.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	45				



3.1.3.1 Scénario de conservation des forêts

La Figure 3-1 illustre les pertes de couvert forestier à l'horizon 2035 comparativement à la couverture forestière en 2005, selon le scénario de conservation des forêts. La quantité totale de perte du couvert forestier entre 2005 - 2035 a été estimée à 90 168 km² se répartissant en savane boisée (11 593 km² - 12%), forêt primaire (21 957 km² - 24%) et forêt secondaire (56 618 km² - 63%). La surface forestière pour l'année 2035 a été estimée à 1 487 118 km², correspondant à 63% de l'étendue du pays. Le taux annuel de perte de couvert forestier entre 2005 et 2035 pour le scénario de conservation des forêts a été estimé à environ 0.20%.

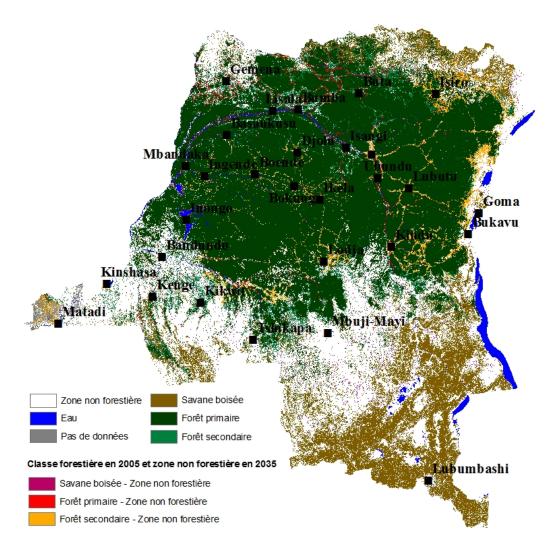


Figure 3-1: Comparaison entre la carte FACET pour l'année 2005 et la simulation de conservation de la forêt pour l'année 2035.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	46				



3.1.3.2 Scénario BAU

La Figure 3-2 illustre les pertes de couvert forestier à l'horizon 2035 comparativement à la couverture forestière en 2005, selon le scénario BAU. La perte totale du couvert forestier en 2035 a été estimée à 213 220 km² se répartissant en savane boisée (29 843 km² - 14%), forêt primaire (59 731 km² - 28%) et forêt secondaire (123 646 km² - 58%). La surface forestière pour l'année 2035 a été estimée à 1 364 066 km², correspondant à 58% de l'étendue du pays. Le taux annuel de perte de couvert forestier à l'horizon 2035 pour le scénario BAU a été estimé 0.48%.

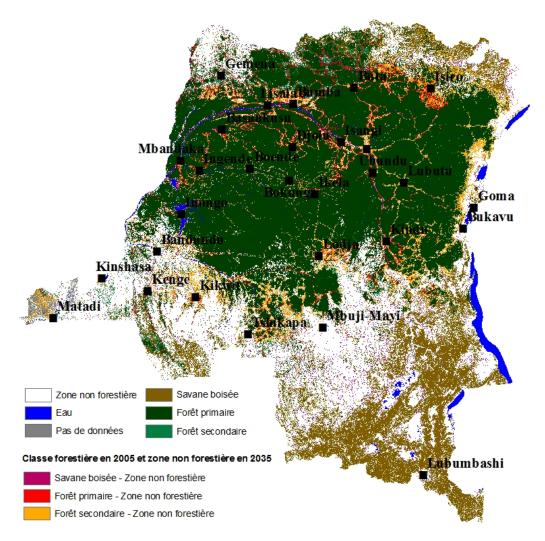


Figure 3-2: Comparaison entre la carte FACET pour l'année 2005 et la simulation BAU pour l'année 2035.

Les projections démographiques indiquent que la population de la RDC va au moins doubler en 2035 par rapport aux chiffres de l'année 2005, sur la base d'un taux annuel moyen de croissance de la population de l'ordre de 3%. Cette croissance de la population impliquera une mobilisation plus



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	47			



importante des surfaces forestières pour l'agriculture, le bois-énergie et le charbon de bois sous l'hypothèse d'une continuité des pratiques actuelles d'usage des ressources ligneuses.

3.1.3.3 Validation du modèle de perte de couvert forestier

La carte FACET de l'année 2010 a permis de valider la simulation du modèle pour la même année. Les résultats de la comparaison des deux cartes sont présentés dans le Tableau 3-2. L'accord global entre la carte de référence et la simulation est de près de 98%, s'expliquant notamment par le fait que les changements affectant les différentes classes forestières sont mineurs comparativement à la superficie des différentes classes. Cette comparaison entre la carte de référence pour l'année 2010 et la simulation démontre aussi que le scénario BAU permet de prédire de manière fiable la perte du couvert forestier en RDC à court terme.

Tableau 3-2: Comparaison entre la carte FACET 2010 et la simulation BAU pour la même année. Les superficies sont présentées en km²

			SIMULATION BAU 2010					
		ZONE NON FORESTIÈRE	Eau	SAVANE BOISÉE	FORÊT PRIMAIRE	FORÊT SECONDAIRE	TOTAL	% ACCORD
	ZONE NON FORESTIÈRE	705 897	0	3 256	6 755	8 549	724 547	97,44%
2010	EAU	0	45 442	0	0	0	45 442	100%
FACET 2	SAVANE BOISÉE	4 043	0	358 370	0	0	362 413	98,88%
F/	FORÊT PRIMAIRE	8 002	0	0	1 025 641	0	1 033 643	99,23%
	FORÊT SECONDAIRE	16 223	0	0	0	145 440	161 663	89,96%
	TOTAL	734 255	45 442	361 626	1 032 396	153 989	2 327 708	
	% ACCORD	96,15%	100%	99,10%	99,35%	94,45%		97,99%

Spatialement, la comparaison entre la carte FACET pour l'année 2010 ainsi que celle correspondant à simulation BAU (Figure 3-3) présente des différences mineures, localisées essentiellement le long des axes de transports. Ces changements faux positifs pourraient traduire un poids trop important attribué à l'accessibilité multimodale pour les zones qui se trouvent en proximité immédiate des axes de transport mais qui demeurent éloignées des différents centres urbains.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	48			



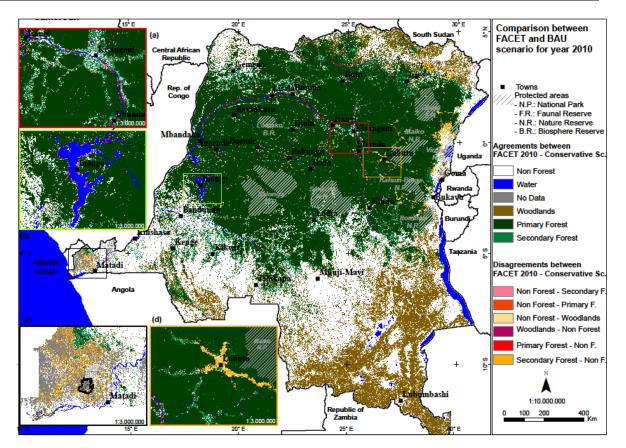


Figure 3-3: Comparaison de la carte FACET et de la simulation BAU pour l'année 2010.

3.1.3.4 Analyse des patterns des pertes simulées du couvert forestier

Les patterns de perte du couvert forestier peuvent être subdivisés en trois grandes zones comprenant la (1) Cuvette centrale (avec des dynamiques contrastées entre le Nord et le Sud), (2) la région Lisala-Bumba, (3) le Nord-Est et l'Est de la RDC, ainsi que (4) les zones de savanes au Nord et au Sud du pays.

Les zones édaphiques dans la Cuvette centrale au Nord de Basankusu ou celles situées le long du fleuve Congo ainsi que des rivières majeures comme la Tshuapa (axe Boende – Bokungu - Ikela) sont caractérisées par un faible potentiel de changement et correspondent à des sols faiblement drainés sur lesquels la production agricole est fort limitée (Vancutsem et al., 2008). Les quelques changements détectés le long de l'axe Boende – Bokungu – Ikela en fonction des résultats de la modélisation sont en accord avec les observations réalisées par Potapov et al. (2008). Ces derniers ont en effet décelé un faible taux de changement dans ces zones pour les périodes 2000-2005 et 2005-2010. Ce faible taux de changement pourrait être dû au fait que ces zones à faible densité de



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	49			



population (De Saint Moulin, 2005) soient situées au milieu de la Cuvette centrale et sont par conséquent faiblement connectées aux villes importantes comme Mbandaka ou Kisangani.

Deux types de dynamiques d'évolution du couvert forestier diamétralement opposées ont, par ailleurs, été recensés dans la Cuvette centrale. Il s'agit d'une **fragmentation forestière importante à l'extrême Nord de la Cuvette** suite à l'interconnexion entre plusieurs localités et villages importants tels que ceux situés dans la zone Basankusu – Djolu – Isangi, ainsi qu'une **faible proportion de changement dans le centre** (Parc National de la Salonga), traduisant une moindre pression humaine sur les ressources. Ces patterns de changement fortement contrastés dans la région Cuvette centrale sont présentés aux Figures 3-4 à 3-6. On peut aussi y observer une augmentation des divergences entre les deux scénarios au fil des périodes de simulation, traduisant l'effet exponentiel de la croissance démographique.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	50				



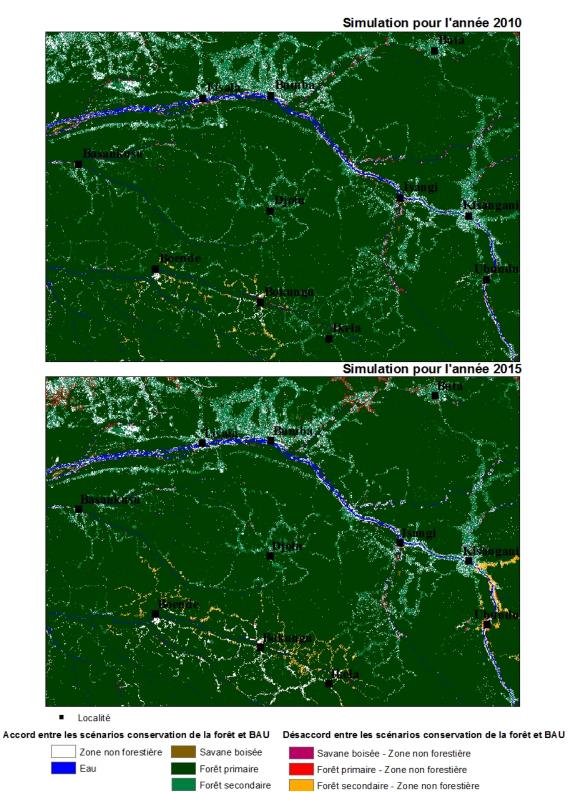


Figure 3-4: Comparaison des deux scénarios pour les années 2010 et 2015.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	51			



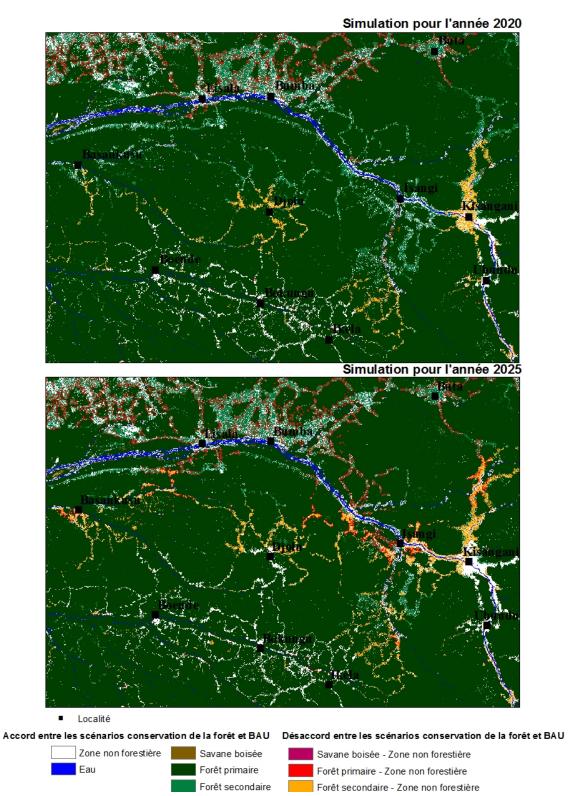


Figure 3-5: Comparaison des deux scénarios pour les années 2020 et 2025.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	52				



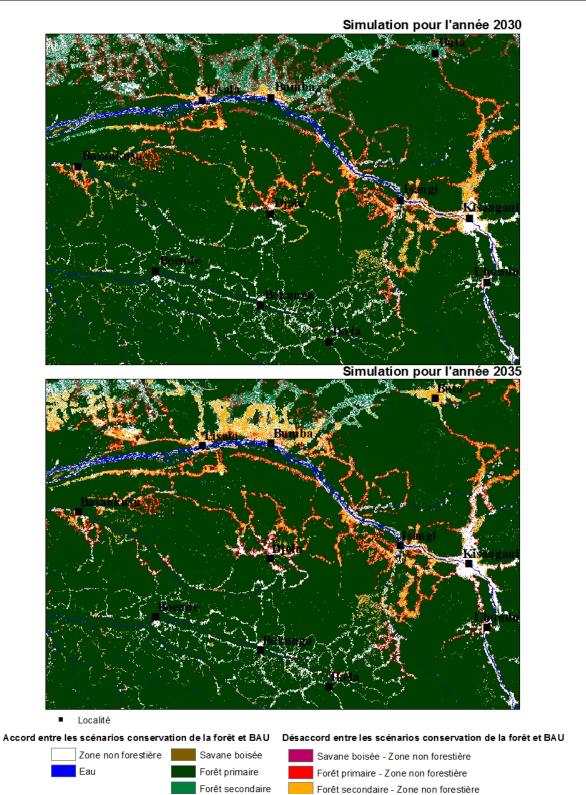


Figure 3-6: Comparaison des deux scénarios pour les années 2030 et 2035.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	53			



Les résultats de la modélisation montrent aussi des changements importants dans la région Lisala-Bumba, dont les patterns correspondent aux empreintes des localités présentes dans la zone. Ces patterns de changement peuvent être directement observés par analyse visuelle d'une série temporelle d'images satellites. Cette zone à forte vocation agricole jouit de la proximité du fleuve Congo qui représente un atout considérable pour l'écoulement des denrées alimentaires vers les grandes villes comme Kisangani, Mbandaka et Kinshasa.

D'autre part, Kisangani, Buta et Isiro sont trois grandes villes interconnectées qui jouent un rôle prépondérant dans l'évolution du couvert forestier pour la partie Nord-Est du pays, et qui sont considérées comme des pôles de développement prioritaires pour la Province Orientale. Les étendues forestières en proximité de ces trois villes présentent un potentiel élevé de perte de couvert forestier, notamment pour les zones de savane du Nord du pays. Enfin, les pertes de couvert forestier au Nord et Sud Kivu ainsi que dans la Province du Maniema sont majoritairement liées à la pression démographique qui engendre des besoins en produits agricoles de base ainsi qu'en boisénergie et charbon de bois pour la partie Est du pays.

Les pertes en zone de savane boisée sont quant à elles localisées en bordure du massif forestier au Nord et au Sud de la RDC, et généralement en proximité immédiate des villes et localités importantes. Les activités humaines développées autour de ces villes correspondent principalement à l'agriculture (région autour de Lodja) et aux activités minières (Mbuji-Mayi et Kananga). D'autres zones présentant un risque élevé de réduction de couvert forestier sont les forêts sèches du Bandundu localisées au Sud-Ouest de la RDC, particulièrement autour de quelques grandes villes comme Kenge, Kikwit et Bandundu-ville. Les réductions prédites de couvert forestier dans cette région sont probablement liées au fait qu'elle constitue un grenier agricole important pour la ville de Kinshasa.

La simulation des pertes du couvert forestier entre 2005 et 2035 fait clairement ressortir les zones majeurs de changement (Figure 3-7), permettant de stimuler la réflexion autour de la mise en place d'un plan stratégique de planification des terres ainsi que des mesures politiques ambitieuses d'accompagnement de l'agriculture paysanne en vue de limite la progression du front agricole en zones forestières. Les zones de changement majeur sont l'Est de la RDC suite notamment à la pression démographique, la partie Nord-Est du pays autour des villes de Buta, Isiro et Kisangani considérés comme des pôles de développement majeurs à l'échelle de toute la Province Orientale, la zone de Lisala-Bumba suite aux activités agricoles pouvant approvisionner des grandes villes comme Kisangani, Mbandaka et Kinshasa via le fleuve Congo. Les simulations de la réduction du couvert forestier montrent aussi que les pistes/routes reliant les villes de Basankusu, Djolu et Isangi contribuent à fragmenter le bloc forestier de la cuvette centrale dans sa partie Nord tandis la zone autour du parc national de la Salonga au centre de la cuvette semble moins sujette à des pressions anthropiques. Dans la partie Sud du pays, les changements majeurs ont été localisées autour des grandes villes telles que Bandundu-ville, Kikwit et Kenge qui constituent un grenier agricole important de la ville de Kinshasa. Autour des villes de Tshikapa et Mbuji-Mayi, les changements identifiés en comparant la carte FACET de l'année 2005 et la simulation pour l'année 2035 sont



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	54			



probablement liés aux activités extractives dans ces zones minières, tandis que ceux identifiés dans la région autour de la ville de Lodja sont majoritairement liés à la production agricole.

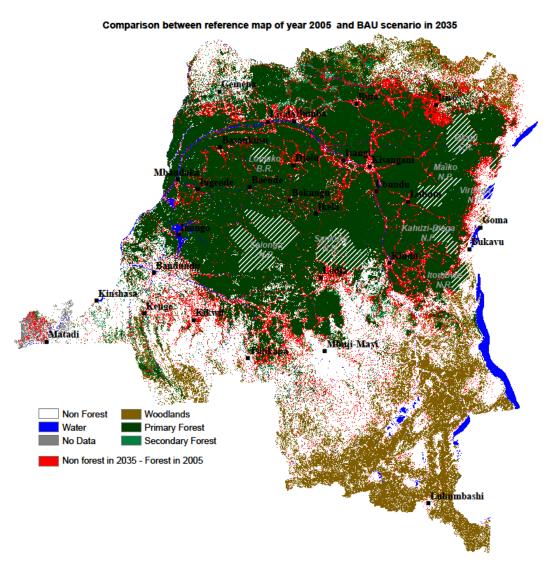


Figure 3-7: Comparaison de la carte FACET 2005 et la simulation BAU pour l'année 2035.

3.2 Résultats du modèle à l'échelle de la zone du projet de réduction des émissions du Maï-Ndombe

Pour la zone de projet de réduction des émissions du Mai-Ndombe, la modélisation a été implémentée à une résolution spatiale de 100 m, permettant ainsi de détecter des changements plus fins



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4				
Version	1.0	Date	30.09.2013		
Page	55				



comparativement à l'échelle nationale. Pour le scénario de conservation de la forêt, la perte totale du couvert forestier dans la zone d'étude a été estimée à 914,87 km² se répartissant en perte de savane boisée (48,87 km² - 5,34%), forêt primaire (204,14 km² - 22,31%) et forêt secondaire (661, 86 km² - 72,34%). Comme observé pour la modélisation à l'échelle nationale, les pertes de couvert forestier entre 2000 et 2005 sont plus importantes en forêt secondaire qu'en forêt primaire et en savane.

Tableau 3-3: Transitions des classes forestières en zones non forestières durant la période 2000-2005 pour la zone de projet de réduction des émissions du Maï-Ndombe. Les superficies sont présentées en km².

	Année 2005					
Année 2000	Zone non forestière	Savanne boisée	Forêt primaire	Forêt secondaire		
Zone non forestière	46 252,22	ND	ND	ND		
Savane boisée	48,87	2 688,92	ND	ND		
Forêt primaire	204,14	0	46 987,32	ND		
Forêt secondaire	661,86	0	0	6 431,33		

Pour le scénario BAU, la perte de couvert forestier a été estimée a été estimée sur base de l'évolution de la population sur l'ensemble des Territoires de Bolobo, Inongo, Kiri, Kutu et Mushie. Comme pour le modèle national, il a été considéré qu'une superficie de 0,25 ha est requise pour chaque ménage agricole.

Tableau 3-4: Projections de la population et estimation de la perte du couvert forestier.

PÉRIODE	POPULATION	SUPERFICIE TOTALE DE CHANGEMENT (KM²)
2005 – 2010	1 222 691	905,79
2010 – 2015	1 383 363	1 024,81
2015 – 2020	1 417 947	1 159.49
2020 – 2025	1 770 821	1 311.85
2025 – 2030	2 003 522	1 484.24
2030 - 2035	2 564 677	1 679.28

Pour la période 2005-2010, les pertes de couvert forestier selon la simulation BAU (905,79 km²) sont du même ordre de grandeur que celles correspondant au scénario de conservation de la forêt (914,87 km²). Ceci tend aussi à confirmer que le scénario BAU tel qu'implémenté est un bon estimateur de la perte du couvert forestier à court terme.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	Date	30.09.2013	
Page	56			



3.2.1 Répartition spatiale du risque de perte du couvert forestier

3.2.1.1 Scénario de conservation des forêts

La Figure 3-8 illustre les pertes de couvert forestier à l'horizon 2035 comparativement à la couverture forestière en 2005, selon le scénario de conservation des forêts. La quantité totale de perte du couvert forestier entre 2005 - 2035 a été estimée à 7 566 km² se répartissant en savane boisée (437 km² - 5,77%), forêt primaire (1 783 km² - 23,56%) et forêt secondaire (5 346 km² - 70.67%). La surface forestière pour l'année 2035 a été estimée à 7 566 km², correspondant à 63,29% de de la zone d'étude. Le taux annuel de perte de couvert forestier entre 2005 et 2035 est d'environ 0,0028%. Les changements sont surtout concentrés autour des agglomérations comme Inongo, Kiri, Yumbi, Bolobo, Kwamouth.

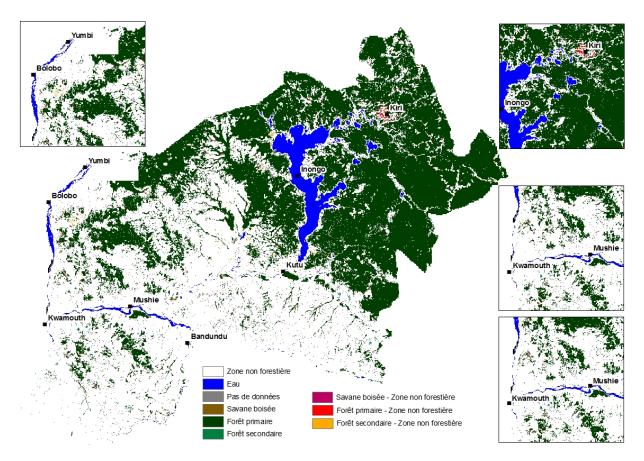


Figure 3-8: Comparaison entre la carte FACET pour l'année 2005 et la simulation de conservation de la forêt pour l'année 2035.



Ref	LOA 004	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0 Date 30.09.2013				
Page	57				



3.2.1.2 Scénario BAU

La Figure 3-9 illustre les pertes de couvert forestier à l'horizon 2035 comparativement à la couverture forestière en 2005, selon le scénario BAU. La perte totale du couvert forestier en 2035 a été estimée à à 7 565 km² se répartissant en savane boisée (351 km² - 4,65%), forêt primaire (1 782 km² - 23,55%) et forêt secondaire (5 346 km² - 70.67%). La surface forestière pour l'année 2035 a été estimée à 6 329 km², correspondant à 54,59% de la zone d'étude. Le taux annuel de perte de couvert forestier à l'horizon 2035 est selon le scénario BAU de l'ordre de 0.0049%.

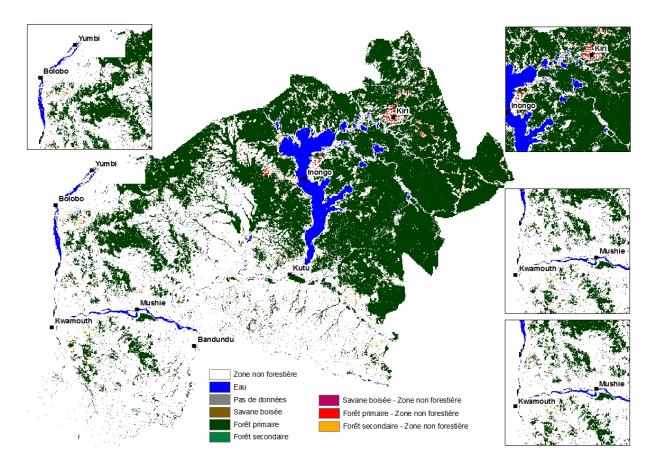


Figure 3-9: Comparaison entre la carte FACET pour l'année 2005 et la simulation BAU pour l'année 2035.

3.2.1.3 Analyse des patterns des pertes simulées du couvert forestier

Les simulations des deux scénarios montrent que les pertes de couvert forestier se concentrent dans la partie Ouest de la zone d'étude, notamment autour des agglomérations telles que Yumbi, Bolobo, Kwamouth et Mushie. Les zones autour du lac Maï-Ndombe et particulièrement à l'Est sont constituées majoritairement de forêts édaphiques à faible potentiel de changement, ce qui pourrait expliquer que les pertes simulées de couvert forestier soient moins importantes dans cette partie de la



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4		
Version	1.0 Date 30.09.2013		
Page	58		



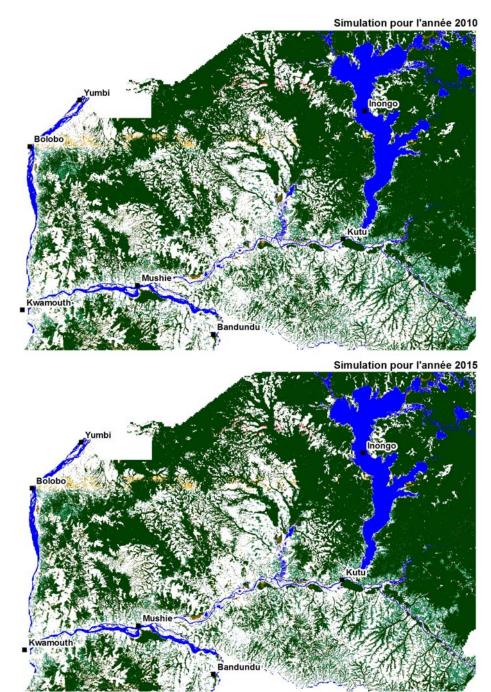
zone d'étude. Ces pertes sont par contre plus importantes dans les zones situées le long des rivières Mfimi (axe Kutu – Mushie – Kwamouth) et Kasaï (Mushie – Bandundu ville).

Les Figures 3-9 à 3-11 présentent la comparaison des résultats des deux scénarios pour les années 2010 à 2035 à intervalle de 5 ans. Ces résultent montrent surtout que les zones forestières dans la partie Ouest de la zone de projet de réduction des émissions du Maï-Ndombe seront vraisemblablement sujettes à une forte pression anthropique du fait de la proximité des agglomérations importantes et des activités agricoles, contrairement aux zones à l'Est du lac Maï-Ndombe.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0 Date 30.09.2013			
Page	59			





Accord entre les deux scénarios

Zone non forestière

Savane boisée

Savane boisée

Savane boisée - Zone non forestière

Forêt primaire

Forêt primaire - Zone non forestière

Forêt secondaire - Zone non forestière

Figure 3-10: Comparaison des résultats des deux scénarios pour les années 2010 et 2015.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0 Date 30.09.2013			
Page	60			



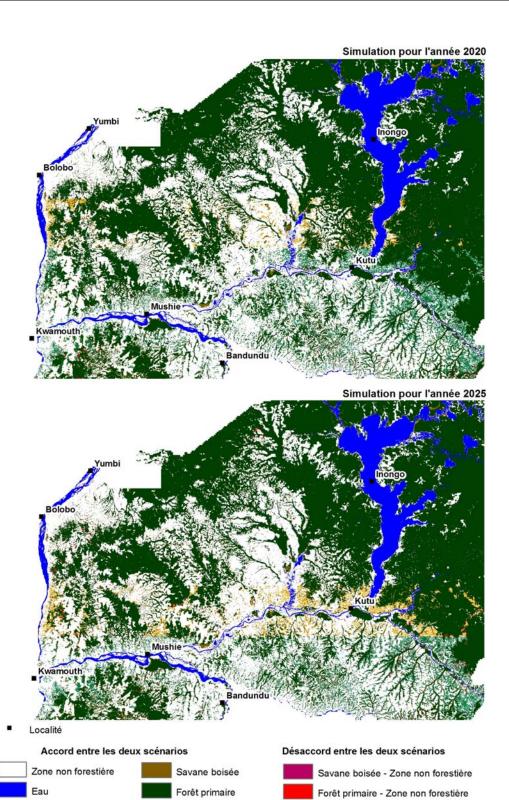


Figure 3-11: Comparaison des résultats des deux scénarios pour les années 2020 et 2025.

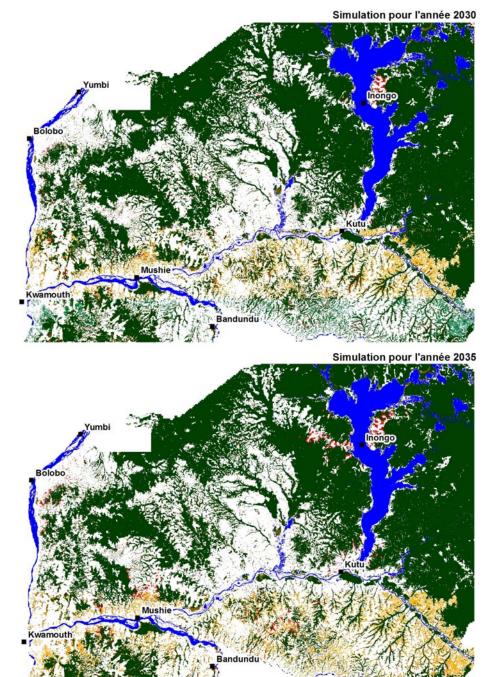
Forêt secondaire - Zone non forestière

Forêt secondaire



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0	30.09.2013		
Page	61			





Localité

Accord entre les deux scénarios

Désaccord entre les deux scénarios

Zone non forestière

Savane boisée

Savane boisée - Zone non forestière

Forêt primaire

Forêt secondaire

Forêt secondaire - Zone non forestière

Figure 3-12: Comparaison des deux scénarios pour les années 2030 et 2035.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0 Date 30.09.2013			
Page	62			



4 CONCLUSIONS

La simulation de la perte du couvert forestier en RDC entre 2005 et 2035 à une résolution spatiale d'1 km a été réalisée sur base d'une modélisation intégrant quatre variables : la distribution spatiale de la population, l'accessibilité multimodale aux localités et villages importants, la proximité aux forêts secondaires ainsi que la présence d'aires protégées. Deux cartes d'occupation du sol extraites du produit FACET pour les années 2000 et 2005 ont permis de calibrer le modèle de simulation et une troisième carte pour l'année 2010 a servi à la validation du modèle. **Deux scénarios** ont été construits afin de simuler les évolutions possibles du couvert forestier. Le scénario BAU a simulé les pertes du couvert forestier sur base de la croissance démographique ainsi que du besoin en terres forestières qui en découle, à raison d'une moyenne de 0.25 ha par ménage agricole. Le scénario de conservation des forêts a simulé l'effet des mesures d'atténuation de l'impact des activités humaines sur l'évolution du couvert forestier en considérant les futures pertes d'étendues forestières comme étant identiques à celles observées durant la période 2000-2005.. Ces deux scénarios ont été retenus de part leur caractère réaliste ainsi que leur cohérence par rapport aux données actuellement disponibles. D'autres scénarios plus spéculatifs pourraient être définis (environnement macroéconomique, demande mondiale en produits forestiers, besoins en bois de chauffe et boisénergie, etc.) mais nécessitent un ensemble de données qui ne sont pas disponibles dans le contexte actuel de la RDC.

Deux variables spatialement explicites dérivées de manière originales et couvrant l'ensemble de la RDC ont permis une analyse fine des dynamiques de changement du couvert forestier. Il s'agit de la distribution spatiale de la population qui a permis de modéliser la quantité totale de perte estimée du couvert forestier, et de l'accessibilité multimodale aux agglomérations et villages importants. Ces deux variables ont permis d'observer que 62% des changements du couvert forestier entre 2000-2005 correspond aux zones de faible densité de population (0-6 habitants/km²) et que par ailleurs 70% de ces changements étaient localisées dans des zones situées à un maximum de 7 heures de l'agglomération importante la plus proche. En RDC, cette durée correspond à un trajet aller-retour entre les villages et les marchés.

La simulation BAU pour l'année 2010 a montré une bonne cohérence par rapport à la carte de référence pour la même année, avec un pourcentage global d'accord de l'ordre 98%. Cette valeur élevée s'explique notamment par le fait que les changements intervenus entre 2005 et 2010 étaient minimes comparativement aux superficies des classes forestières. En outre, les estimations de la simulation BAU ont indiqué que la population de la RDC va probablement doubler en 2035 par rapport à la population en 2005, induisant une perte de superficie forestière d'environ 2,5 fois plus grande que celle résultant du scénario de conservation de la forêt.



Ref	LOA 004/2012/UNJP/DRC/041/UNJ - RF-SA-3.4/4.4			
Version	1.0 Date 30.09.2013			
Page	63			



Le scénario de conservation de la forêt a indiqué que la RDC peut demeurer un pays forestier à faible taux de déforestation dans les prochaines années, en particulier si des actions d'atténuation de la déforestation et de la dégradation forestière sont mises en œuvre. Celles-ci peuvent concerner la réduction des activités humaines ayant un impact direct sur la perte du couvert forestier dans le cadre des initiatives telles que la REDD, un meilleur encadrement de l'agriculture paysanne afin de maintenir une bonne fertilité des sols au fil des années pour freiner la progression du front agricole en zones forestières, une planification stratégique de l'usage des terres dans le cadre d'une politique d'aménagement du territoire à l'échelle nationale et locale, ainsi qu'une évaluation de l'impact de la construction et de la réhabilitation d'infrastructures sur la perte du couvert forestier.

Les zones de changement majeurs pour les deux scénarios correspondent à des zones assez bien définies: l'Est et le Nord-Est de la RDC, la région Lisala-Bumba-Gemena, la limite Nord de la cuvette centrale, les zones correspondant aux greniers agricoles de la ville de Kinshasa dans les provinces du Bas-Congo et du Bandundu, les zones d'exploitation minière dans la région Tshikapa-Mbuji-Mayi, la région autour de la ville de Lodja, ainsi que dans les zones de savane situées en proximité immédiate des villes importantes telles que Lubumbashi. Pour chacune de ces régions, une dynamique majeure spécifique en lien avec la perte du couvert forestier a pu être identifié, permettant d'alimenter la réflexion sur la mise en place des mesures d'atténuation de l'impact de ces diverses activités sur le couvert forestier.

Dans la zone de réduction des émissions du Maï-Ndombe, les simulations ont montré que la partie à l'Ouest du lac Maï-Ndombe sera sujette à des changements importants suite à la présence d'agglomérations importances. Dans la partie Est, les simulations ont montré une faible quantité de changement du fait que cette région est majoritairement constituée de forêts édaphiques. D'autres zones importantes de changement concernent les régions à proximité des rivières Mfimi et Kasaï, pouvant constituer des greniers agricoles importants pour des centres urbains tels que Kinshasa.