

Analyses des structures et des dynamiques de formations forestières par méthode de télédétection dans le massif forestier de Uma (Kisangani, R.D. Congo)

John Katembo Mukirania
(jmukirania1@yahoo.fr)

Equipe d'encadrement :

- **Dr BOYEMBA BOSELA Faustin**

Professeur au département d'écologie et gestion des ressources végétales, Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani (faustinboyemba@yahoo.fr), Promoteur et initiateur de cette étude (thèse).

- **Dr Nicolas BARBIER**

Chargé de Recherches (Research Associate) à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD/UMR AMAP), Botanique et Bioinformatique de l'Architecture des Plantes (Botany and Computational Plant Architecture) (nicolas.barbier@ird.fr), Co-promoteur et co-initiateur de cette étude.

- **Dr. Sylvie Gourlet-Fleury**

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD – ES), Montpellier – France, Dynamique forestière (sylvie.gourlet-fleury@cirad.fr), Collaborateur scientifique pour les interprétations des dynamiques endogènes dans la forêt tropicale du forestier central.

Résumé

Etudier les structures et dynamiques forestières d'un paysage tout en rendant compte de sa dégradation est scientifiquement profitable et socialement important. Les images à très haute résolution spatiale peuvent permettre d'interpréter les variations des paramètres forestiers à une échelle un peu plus large que celle permise par les données de terrain. L'application de cette vision dans le massif forestier de Uma (0° 34' latitude N et 25° 52' longitude E) passe par la mise en place des méthodes et algorithmes pouvant permettre la généralisation des observations du terrain pour les appliquer sur de grandes échelles spatiales. Un hectare est l'unité de l'information de terrain. La multiplication des parcelles dans le paysage à étudier permet d'acquérir l'essentiel de l'information de terrain. Les activités faites dans la parcelle sont l'inventaire des arbres à dhp ≥ 10 cm, la prise de la hauteur sur une cinquantaine d'arbres et un géoréférencement précis de chaque parcelle. Les images GeoEye 50 cm que nous avons sur la zone de Uma permettront de confronter les variations de structure et de composition floristiques à des forçages potentiels, mais aussi d'explorer des dynamiques endogènes. A partir des cartes de types forestiers et de biomasse, on envisagera un échantillonnage systématique de variables environnementales ou autres. Les photos aériennes ou alors les cartes topographiques des années 50-60 permettront de faire un certain recul sur la dynamique temporelle du couvert et des types forestiers.

Budget estimatif : 25 000 €

Mots clés : structures, dynamiques, formations forestières, télédétection, Uma.

PROJET DE RECHERCHE

1. Contexte de la recherche

Depuis quelques décennies, la télédétection intervient de plus en plus dans les études des paramètres de la structure et des dynamiques forestières mais aussi des pressions que l'homme exerce sur la forêt. Le recul temporel sur plus de 30 ans permet d'évaluer l'ampleur des changements de la forêt voire d'obtenir des tendances d'évolution des processus qui s'y déroulent (perte/restauration du couvert forestier, anthropisation/urbanisation, désertification, etc.).

Les relevés de terrain, en raison de leur coût et de leur difficulté, ne permettent pas à eux seuls d'assurer un échantillonnage représentatif, que ce soit à l'échelle locale ou régionale. Il est donc indispensable de disposer d'outils permettant une extrapolation fiable des paramètres forestiers. Dans ce contexte, l'usage de la télédétection est nécessaire en République Démocratique du Congo (RDC) car : (i) ce pays possède une diversité biologique qui reste encore mal connue, (ii) ce pays englobe des régions forestières qui sont difficiles à explorer (vastes étendues, sites d'études souvent éloignés des axes routiers, accès difficile) et à caractériser (hétérogénéité des structures forestières à toutes les échelles d'observation et grande diversité des espèces) ; ce qui rend difficile la description des interactions entre facteurs du milieu et les groupements végétaux.

L'efficacité des approches liées à la télédétection dans la cartographie des caractéristiques forestières et dans le suivi des changements du couvert forestier est déjà bien démontrée dans les forêts tempérées. Par contre, dans les forêts tropicales, ces approches montrent des limites pour des discriminations plus fines au sein des forêts à biomasse épicée élevée (>200 Mg MS AGB ha⁻¹). Dans ce contexte, le défi à relever ici est la discussion approfondie de l'intégration des résultats issus des inventaires forestiers et de l'interprétation de l'imagerie dans un ensemble cohérent d'approches alliant la mesure de terrain (allométrie, architecture des arbres, structure forestière, propriétés optiques), la modélisation physique (transfert radiatif) et biologique (modèles de plantes et de peuplements) et la combinaison de signaux de télédétection de différents types.

Notre projet de recherche est une participation aux recherches fondamentales et méthodologiques qui sont menées actuellement dans les forêts tropicales sur la base d'une continuité des observations de terrain et de télédétection. A travers les travaux de terrain, nous voulons répondre à la question de l'interprétation des données éco-biologiques à grande échelle dans les forêts tropicales en utilisant la télédétection.

2. Etat de l'art du domaine scientifique relatif au projet de recherche

Les recherches liées à l'étude des écosystèmes forestiers tropicaux par la télédétection dans le contexte du changement global sont particulièrement plus diversifiées en Amazonie (Asner & al., 2004 ; Asner & al., 2010 ; Barbier & al., 2010 ; Palace & al., 2008 ; Asner & al., 2012 ; Moreau & al., 2012). Ces recherches sont nouvelles en Afrique centrale. Dans ce contexte de littérature foisonnante, ces recherches soulignent d'un côté la capacité des outils utilisés dans l'acquisition de l'information voulue (gestion des compromis de la résolution spatiale, de la résolution spectrale, de la résolution radiométrique, de la surface couverte, du coût, de la répétitivité, de la complexité de traitement du signal, etc.). D'un autre côté, ces recherches reviennent sur les objectifs multiples qui sont visés. Ici, nous pouvons noter que la plupart de ces recherches se sont bornées à la recherche méthodologique afin d'améliorer le traitement des données déjà disponibles dans certains sites. La visée ultime en matière de traitement des données satellitaires étant de mettre au point des méthodes permettant de généraliser les observations du terrain afin qu'elles soient reproductibles sur d'autres espaces non couverts par les relevés de terrain.

L'approche par la texture offre la perspective de contourner la saturation des signaux aux hautes biomasses, pour un coût 10 à 100 fois moindre que le LiDAR aéroporté (Barbier & al., 2012). Barbier & al., 2011 ; Barbier & al., 2012 ; Ploton & al., 2012 a ; Ploton & al., 2012 b montrent l'importance des images à très haute résolution spatiale (e.g. GeoEye 50 cm) dans les études des forêts tropicales dans un contexte de changements globaux. L'efficacité de ces images est d'ores et déjà prouvée dans la quantification précise des surfaces forestières et des types forestiers, dans l'évaluation des biomasses, dans la connaissance de l'état du couvert lié à la réponse spectrale. La mise au point des algorithmes d'inversion des paramètres forestiers à l'échelle d'un hectare et de les appliquer sur de grandes échelles spatiales a été démontrée par ces auteurs précités.

Spécialement pour les estimations de la biomasse en régions tropicales, une incertitude d'environ 50 % sur la biomasse moyenne entraîne une incertitude d'environ 80 % dans l'estimation des flux de carbone (Houghton, 2005). Ceci démontre qu'il est important de différencier d'abord les différents types forestiers par télédétection pour améliorer les estimations de biomasse (Laporte & al., 2010).

Quant au suivi du changement de l'occupation du sol et des types forestiers, nombreux travaux ont été effectués en Afrique centrale (Duveiller & al., 2008 ; Hansen & al., 2008 ; Bamba, 2010 ; Céline & al., 2012). Ces études signalent l'importance de la méthode traditionnelle dans la cartographie des forêts si l'on veut faire un recul considérable dans le temps. Pour un meilleur suivi de la déforestation, Morton & al., 2006 suggèrent l'utilisation de la haute fréquence d'acquisition des données MODIS (nuages) et des caractéristiques phénologiques pour mieux identifier le type de conversion. En RDC, quelques études ont essayé de caractériser la dynamique de l'occupation du sol dans les paysages forestiers et les réserves forestières à l'intervalle de 10 ans (Bamba & al., 2008 ; Mikwa, 2010). Ces études montrent que les paysages étudiés sont soumis à une forte pression anthropique et signalent dans l'ensemble que ces derniers ont beaucoup changé en 10 ans. Toutes ces études évoquent d'une part l'importance de l'acquisition des cartes ou données complémentaires pour mieux élaborer un suivi diachronique de plus de 50 ans de l'occupation du sol dans les paysages en étude à intervalle de 10 ans. D'autre part, ces études suggèrent l'insertion des habitants de la zone d'intérêt dans l'interprétation des résultats obtenus.

3. Bibliographie

Asner, G.P., Clark, J.K., Mascaró, J., Galindo, G. A. G., Chadwick, K. D., Navarrete, D. A. E., G. Paez-Acosta, Cabrera, E.M., Kennedy-Bowdoin, T., Duque, A., Balaji, A., Hildebrand, P.V., Maatoug, L., Bernal, J.F.P., Knapp, D. E., Dávila, M.C.G., Jacobson, J., and Ordóñez, M. F. (2012). High-resolution Mapping of Forest Carbon Stocks in the Colombian Amazon. *Biogeosciences Discuss.*, 9, 2445–2479.

Asner, G.P., Keller, M. and Silva, J.M. 2004. Spatial and temporal dynamics of forest canopy gaps following selective logging in the eastern Amazon. *Global Change Biology* (2004) 10, 765–783, doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00756.

Asner, G.P., Powell, G.V.N., Mascaró, J., Knapp, D.E., Clark, J.K., Jacobson, J., Kennedy-Bowdoin, T., Balaji, A., Paez-Acosta, G., Victoria, E., Secada, L., Valqui, M., and Hughes, R.F. (2010). High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon. Edited by B. L. Turner, Arizona State University, Tempe, AZ, pp.16738–16742.

Bamba, I., Mama, A., Neuba, D. F. R., Koffi, K. J., Traore, D., Visser, M., Sinsin, B., Lejoly, J. & Bogaert, J. (2008). Influence des actions anthropiques sur la dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol dans la province du Congo central (R.D. Congo). *Sciences & Nature*, 5: pp. 49-60.

Bamba, I. (2010). Anthropisation et dynamique spatio-temporelle de paysages forestiers en République Démocratique du Congo Thèse, Université Libre de Bruxelles, 205 p.

Barbier, N., Couteron, P., Gastelly-Etcheberry, J.-P., & Proisy, C. (2012). Linking canopy images to forest structural parameters: potential of a modeling framework. *Annals of Forest Science*, 69, pp. 305-311

Barbier, N., Couteron, P., Proisy, C., Malhi, Y., & Gastelly-Etcheberry, J.-P. (2010). The variation of apparent crown size and canopy heterogeneity across lowland Amazonian forests. *Global Ecology and Biogeography*, 19, pp. 72-84

Barbier, N., Proisy, C., Véga, C., Sabatier, D., & Couteron, P. (2011). Bidirectional texture function of high resolution optical images of tropical forest: An approach using LiDAR hillshade simulations. *Remote Sensing of Environment*, 115, pp. 167-179.

Céline, E., Mayaux, P., Verhegghen, A., Bodart, C., Musampa, C. and Defourny, P. (2012). National forest-cover change in Congo Basin: deforestation, reforestation, degradation and regeneration for the years 1990, 2000 and 2005. *Global Change Biology*, doi: 10.1111/gcb.12092

Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., & 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, pp. 1969-1981.

Hansen, M.C., Roy, D.P., Lindquist, E., Adusei, B., Justice, C.O. & Alstatt, A. (2008). A method for integrating MODIS data for systematic monitoring of forest cover and change in the Congo Basin. *Remote Sensing of Environment*, 112, pp. 2495-2513.

Houghton, R. A. (2005). Aboveground Forest Biomass and the Global Carbon Balance. *Global Change Biology* 11, pp. 945–958, doi: 10.1111/j.1365-2486.

Laporte, N., Baccini, A., Goetz, S., Mekui, P., Bausch, A. (2010). Une première estimation de la biomasse ligneuse aérienne d'Afrique sur la base d'images satellitaires et d'inventaires forestiers. *Proceeding of the conference on carbon stock and fluxes, COMIFAC, Brazaville*, 58-65.

Mikwa, J-F., 2010. Evaluation par télédétection des effets de la déforestation et de la dégradation des forêts à Kisangani (Cas de la Région forestière de Masako) DEA, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kisangani, 54 p.

Moreau, I., Defourny, P. (2012). The vegetation phenology detection in amazon tropical evergreen forests using Spot-Vegetation 11-Y Time Series. *IGARSS*, 978-1-4673-1159

Morton, D.C., DeFries, R.S., Shimabukuro, Y.E., Anderson, L.O., Arai, E., del Bon Espirito-Santo, F., Freitas, R., dan Morisette, J. (2006). Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103(39): pp. 14637-14641.

Palace, M., Keller, M., Asner, G.P., Hagen, S., and Braswell, B. (2008). Amazon Forest Structure from IKONOS Satellite Data and the Automated Characterization of Forest Canopy Properties. 10.1111/j.1744-7429.2007.00353., *BIOTROPICA* 40(2): pp. 141–150

Ploton, P., Pelissier, R., Proisy, C., Flavenot, T., Barbier, N., Rai, S.N., & Couteron, P. (2012a). Assessing aboveground tropical forest biomass using Google Earth canopy images. *Ecological Applications*, 22, pp. 993-1003

Ploton, P., Pélissier, R., Barbier, N., Proisy, C., Ramesh, B. R. & Couteron, P. (2012b). Canopy texture analysis for large-scale assessments of rainforest stand structure and biomass. Chap. 24. In M. Lowman, Devy, S. & Ganesh, T. (Ed.), *Treetops at Risk? Challenges of Global Forest Canopies*. (pp. 237-245): Springer, New York. ISBN 978-1-4614-7161-5

4. Hypothèses

Notre projet se propose quatre grandes hypothèses. Sur base des exposés faits ci-dessus, nous supposons que la télédétection permettra de 1) différencier les types forestiers du paysage de Uma et d'estimer la biomasse épigée de chacun de ces types forestiers, 2) différencier des types de forêts floristiquement et structurellement différents, 3) explorer les dynamiques endogènes (successions *Julbernardia-Gilbertiodendron*) du paysage en étude et 4) mettre en évidence des parcours historiquement contrastés de l'occupation des sols (jachères de différents âges, etc.) permettant d'expliquer des dynamiques/structures/compositions actuelles de la forêt.

5. Objectif(s)

Notre projet est centré sur l'usage des images à très haute résolution spatiale pour apporter des informations sur l'écologie des forêts tropicales. Dans le massif forestier de Uma, ce thème a pour objectifs, de mettre au point et évaluer des méthodes de mesure et des modèles décrivant 1) les types forestiers et l'estimation de leur biomasse épigée, 2) les différences dans la structure et la composition floristiques, 3) les dynamiques endogènes et 4) les parcours historiquement différents de l'occupation du sol à partir de la télédétection en s'appuyant sur les données récoltées sur le terrain.

6. Présentation des résultats escomptés

Les résultats attendus par cette étude seront une contribution effective de la télédétection au développement durable de la République Démocratique du Congo dans le cycle global du carbone. Sachant que ce pays possède le plus grand massif forestier du bassin forestier congolais où les processus de séquestration du carbone et les informations sur l'écologie approfondie des forêts dans différents contextes environnementaux sont encore mal connus et peu étudiés, grâce à la télédétection, ce projet de recherche apportera une contribution à cette compréhension par l'estimation plus précise de la biomasse forestière et la connaissance approfondie de l'écologie des peuplements forestiers de la zone d'étude. Notre recherche rendra aussi compte de la dégradation forestière et de la dynamique naturelle des types forestiers (i.e. des modifications dans les structures forestières) dans la zone d'étude car la maîtrise de ces deux paramètres reste encore un défi dans nos forêts.

Pour la présente recherche, nous aurons besoin des données images et cartes collectées concernant le massif forestier de Uma. La caractéristique principale que nous souhaitons est d'avoir de bonnes résolutions spectrales et spatiales associant précision de la localisation et couverture de notre zone d'intérêt. Ces images et cartes seront de plusieurs types (GeoEye 50 cm, cartes de types forestiers, cartes de biomasse, photos aériennes ou cartes topographiques). Les images GeoEye 50 cm que nous avons déjà sur la zone d'intérêt devront nous permettre de confronter les variations de structure et de composition floristiques à des forçages potentiels (sol, hydromorphie, pression humaine), mais aussi d'explorer des dynamiques endogènes (succession *Julbernardia* - *Gilbertiodendron*). A partir des cartes de types forestiers et de biomasse déjà disponibles, on pourra envisager un échantillonnage systématique de variables environnementales (Topographie, Ensoleillement, Orientation, Altitudes) ou autres...

Etant donné que nous avons besoin d'un suivi temporel du couvert forestier de la zone, nous aurons besoin des images et cartes couvrant toute la zone d'intérêt pendant une durée d'au moins 50 ans car l'objectif ultime de ce projet est d'atteindre la gestion durable de cette zone. A partir de ces deux images, nous allons élaborer les cartes de végétation de la zone d'intérêt de 1950 et de 2013.

Ainsi, la réussite de ce projet sera mesurée par l'acquisition des images, cartes et photos précitées, l'accomplissement des tâches de terrain (inventaire des arbres et autres travaux), la mise des données sous forme électronique et leur analyse statistique, l'usage des algorithmes permettant l'inversion des paramètres forestiers, l'évaluation des modifications dans les structures forestières, la production d'un rapport suivi d'une défense de thèse ainsi que la publication des résultats dans une revue scientifique internationale de rang A (ou : « A comité de lecture »).

Sur le plan méthodologique, la mise en place des parcelles forestières sera basée sur les protocoles de Dallmeier & al., 1992 et de Picard & al., (2008): la parcelle doit d'abord être plus au moins isolée des actions anthropiques. Elle a une superficie de 1 hectare (100 m x 100 m) subdivisée en 25 sous-parcelles de 20 m x 20 m. Le recensement (espèce végétale) et les mesures concernent seulement les individus de diamètre à hauteur de poitrine (dhp) supérieur ou égal à 10 cm. Chaque arbre est identifié à l'espèce. A cette identification s'ajoute la collecte d'échantillons de référence (herbier + ADN) pour au moins chaque espèce de la parcelle d'étude. Les échantillons ADN étant séchés à l'aide du silicagel. Les mesures qui sont prises sur les arbres à dhp ≥ 10 cm sont la circonférence de l'arbre à 1,30 m au-dessus du niveau du sol et la hauteur (hauteur prise avec un instrument du type LaserAce) sur une cinquantaine d'individus dans chaque parcelle de 1 hectare. Ces individus sont dénombrés sous-parcelle par sous-parcelle et étiquetés. Ce qui fait de ces parcelles des parcelles permanentes. Ainsi pour éviter le problème de précision de mesure lors d'une probable seconde campagne de prise des mesures, notamment celui de trait de peinture, parfois effacé, parfois plus large que le ruban, arbre tombé, sentier en partie effacé ; l'usage d'un étiquetage alu et des marques de peinture à hauteur de mesure du dhp est fait. Sur le terrain, les échantillons du sol (quatre échantillons composites de 0-30 cm dans 4 coins suivant une diagonale dans la parcelle), la topographie de la parcelle et l'altitude sont récoltés et prises, alternativement, à l'aide d'une tarière, du LaserAce et du model numérique de terrain (MNT). La prise des coordonnées GPS de tous les piquets du contour de chaque parcelle (20 points) est utile pour leur mise en relation. Ces points GPS seront pris en coordonnées UTM (Universal Transversal Mercator). En calculant la valeur moyenne des coordonnées de ces 20 points, un géoréférencement précis de la parcelle d'étude est plus au moins atteint. La récolte des données dans une parcelle prend au maximum trois jours (minimum deux jours) avec une équipe de six personnes, le chercheur principal y compris (Après l'ouverture des layons (1200 m au total) par toute l'équipe, le chercheur principal s'occupe de la prise des hauteurs et de la topographie au moyen de LaserAce mais aussi de la prise des photos sur les tranches des arbres, l'identificateur prend les conférences, 4 techniciens : le premier s'occupe des étiquettes alu, le second matérialise le point de mesure du dhp en l'entourant de deux traits de peinture, le troisième s'occupe de la récolte des herbiers et leur étiquetage par rapport aux numéros des arbres dans la parcelle, le dernier souvent un intellectuel de niveau assez élevé s'occupe des fiches d'inventaire et de levée topographique).

Les changements du couvert forestier et des types forestiers, de la zone d'étude seront déterminés, cartographiés et évalués pour un intervalle de 60 ans environs à partir des photos aériennes ou des cartes topographiques des années 50-60 et de l'image satellitaire GeoEye à très haute résolution spatiale de 2013. Ces données numériques seront d'abord analysées visuellement et par traitement numérique (correction géographique d'image, amélioration d'image, calcul d'indice de végétation, classification numérique), puis complétées par plusieurs missions de validation sur le terrain. La méthode à utiliser sera appliquée à l'identique sur les images de deux époques susmentionnées. Dans une première phase, une interprétation sera effectuée sur les compositions colorées des canaux originaux, ainsi que des néocanaux et des classifications non supervisées. A partir de ces résultats, des sites d'entraînement représentatifs des différentes unités d'occupation du sol seront choisis. Ces sites d'entraînement seront visités. La structure de la végétation, le niveau de dégradation, la composition floristique, les types forestiers ainsi que l'état du sol seront notés de manière à affiner les résultats de l'interprétation visuelle. Le matériel essentiel sur le terrain sera le GPS.

Voici les quatre articles avec leurs titres momentanés :

Article 1 - Etude des variations de types forestiers et estimation de la biomasse épigée par télédétection à Uma (R.D. Congo)

Article 2 - Confrontation des fluctuations de structure et de composition floristique à des forçages potentiels (sol, hydromorphie, pression humaine) à partir de la télédétection à Uma (R.D. Congo)

Article 3 - Exploration des dynamiques endogènes (successions *Julbernardia* - *Gilbertiodendron*) à partir de la télédétection à Uma (R.D. Congo)

Article 4 – Analyse de la dynamique temporelle du couvert forestier et des types forestiers à Uma (R.D. Congo).

7. Le plan de recherche

L'étude sera conduite dans le massif forestier du terroir de Uma (0° 34' latitude N et 25° 52' longitude E), vers les kilomètres 60 à 100 sur la route de l'Ituri à l'est de Kisangani. Nous voulons mener notre projet dans ce terroir car, ce dernier va devenir un site de développement d'écotourisme avec la présence de l'ADIKIS (Action pour le développement intégré de Kisangani et la cuvette centrale congolaise) qui intensifie des activités de développement local depuis quelques années dans le sens d'une approche systémique. Du point de vue de la biodiversité végétale, la forêt de Uma est considérée comme hot-spot de la biodiversité végétale suite à la présence des Inselbergs. La zone d'étude est couverte par une image GeoEye d'environ 260 Km² de scène.

Pour les trois premières hypothèses, la texture de l'image GeoEye permettra de cartographier des variations de structure et de composition forestière à l'échelle du paysage, et donc les questions sur les forçages exogènes ainsi que les dynamiques sylvigénétiques pourront s'appuyer sur les données issues de l'analyse texturale de cette image. Les travaux de terrain sont détaillés dans les lignes ci-dessous:

Hypothèse1: Les parcelles forestières (déjà décrites au point 9.6) seront préalablement localisées sur base de la texture de l'image GeoEye. Une fois sur place, une zone d'inventaire forestier sera délimitée. Pour tous les peuplements à étudier, une surface d'inventaire d'un hectare sera notre standard. Dans chaque parcelle, les informations minimales sont l'identification de l'espèce et la mesure du dhp pour chaque individu. A partir de ces relevés, on calcule généralement une surface terrière (m²/ha), paramètre intégrateur des caractéristiques de la parcelle puisqu'il correspond à la somme des sections d'arbres mesurés à hauteur de dhp. Pour les individus d'arbres, on commence généralement à compter les arbres de dhp ≥ 10 cm. Quelques hauteurs totales d'individus complètent en général cet inventaire. Pour ces mesures, on utilise un dhp mètre pour la prise du dhp et un télémètre LaserAce à main levée pour la hauteur. Les observations sur les sous-parcelles et parcelles sont mentionnées (e.g. présence d'un chablis nouveau ou ancien, présence d'une trouée ou d'une clairière, ...). Six parcelles permanentes étaient déjà installées dans la zone d'intérêt en 2013 lors d'un stage d'apprentissage de récolte des données et utilisation du matériel technique sur le terrain. Ce stage s'était déroulé sous la direction de Nicolas Barbier de l'Institut de Recherche pour le Développement et m'a permis de rédiger mon mémoire de master DES/DEA. Nous comptons ajouter 24 parcelles permanentes pour faire un total de 30 parcelles permanentes dans le cadre de ce projet de recherche. Les herbiers (faits en double), les échantillons ADN récoltés et les photos des tranches faites sur les arbres vont nous permettre de finaliser l'identification. Une copie de chaque herbier et tous les échantillons ADN seront envoyés à l'Université Libre de Bruxelles pour identification.

Hypothèse 2: les détails repris à l'hypothèse1 reviennent ici. Nous allons utiliser les mêmes parcelles qu'à l'hypothèse 1. La différence avec l'hypothèse 1 est qu'ici, les grandes observations à noter sur les sous-parcelles et les parcelles forestières vont revenir sur les forçages exogènes (sol, hydromorphie, pression de l'homme et autres).

Hypothèse 3: les détails repris à l'hypothèse1 reviennent ici. Nous allons prendre en compte les parcelles qui ont été installées dans les zones où l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* est importante. Aussi allons tenir compte des parcelles qui sont installées dans les forêts mixtes (mélange *Julbernardia-Gilbertiodendron*). Et donc sur les 30 parcelles forestières installées, au moins une vingtaine devra se trouver dans les conditions de répondre à l'hypothèse posée ici.

N.B.: Notre projet tiendra compte concomitamment des hypothèses 1, 2 et 3 dans la récolte des données sur le terrain. L'idéal étant de maximiser le temps et les efforts mis dans la récolte des données.

Hypothèse 4: dans cette partie du projet, les travaux vont s'appuyer sur les photos aériennes ou alors les cartes topographiques des années 1950 et une image satellitaire à très haute résolution spatiale de 2013. Ainsi, les compositions colorées ayant une bonne discrimination des types d'occupation du sol, vont servir de base à la collecte de données de terrain sur la végétation (structure) et la flore à partir des sites d'échantillonnage. Les surfaces autres que la végétation (sol nu, localité, plan d'eau) seront également décrites. En s'appuyant sur les données de terrain, les classifications dirigées par la méthode de maximum de vraisemblance sur les photos aériennes (ou cartes topographiques) et image satellitaire vont permettre d'élaborer les cartes de végétation de la zone d'intérêt de 1950 et 2013.

8. La planification de votre projet.

Description des activités	Dates (mois de 1 à 36)
- Récolte des données à Uma pour hypothèses 1, 2 et 3 - Début des analyses des échantillons du sol au laboratoire de pédologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani.	1-8
- Stage1 pour se former à IRD_AMAP aux fondamentaux de la méthode d'utilisation des images à THRS dans le cadre d'études scientifiques de différents types de forêts et à son application pour les forêts du Bassin du Congo et apprentissage des statistiques pour des données spatialisées - Fin des analyses des échantillons du sol au laboratoire de pédologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani.	9-11
Finalisation de la rédaction de l'article 1	12-16
Finalisation de la rédaction de l'article 2	17-21
Finalisation de la rédaction de l'article 3	22-25
Récolte des données pour l'hypothèse 4	26-29
Stage 2 à IRD_AMAP pour se former aux fondamentaux de la méthode d'utilisation de la télédétection pour le suivi de la dynamique du couvert forestier et des types forestiers	30
Finalisation de la rédaction de l'article 4	31-35
Finalisation du rapport final (thèse)	36