

ACCOMPAGNEMENT DE PAYS D'AFRIQUE CENTRALE ET DE L'OUEST DANS L'UTILISATION DE L'IMAGERIE SATELLITAIRE POUR LA CONCEPTION, LA MISE EN ŒUVRE ET LE SUIVI DES POLITIQUES PUBLIQUES D'AMENAGEMENT DURABLE DU TERRITOIRE, DE 2010 A 2020

Benoît Mertens¹, Camille Pinet²

¹ UMR Espace-DEV, Institut de recherche pour le développement (IRD)

² IGN FI

Résumé

Malgré une ouverture et une démocratisation croissante des données satellitaires et outils de traitement associés, l'utilisation de ces données et des informations qui en sont issues reste relativement limitée dans les pays du Sud. Depuis plusieurs années, des initiatives visant l'amélioration de l'accès et de l'utilisation par les acteurs locaux ont vu le jour. Ce papier présente le bilan de 3 projets successifs financés par l'Agence Française de Développement en Afrique Centrale et de l'Ouest entre 2010 et 2020. Ces projets, pilotés par IGN FI et l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), ont apporté des éléments de réponse aux principaux défis identifiés par les acteurs locaux partenaires tels que : l'accès aux données, l'amélioration des compétences pour le traitement des données, la sensibilisation des décideurs et gestionnaires des territoires aux informations et services qui peuvent en être dérivés, la production par des équipes locales de cartographie de référence ou encore la montée en compétence et la structuration de réseaux d'utilisateurs. Cet article reprend les actions et résultats sur trois axes d'intervention à savoir (i) la mise à disposition gratuite de données récentes à haute résolution, (ii) la production locale de cartographie de l'évolution du couvert forestier et de l'occupation du sol et (iii) la promotion de l'utilisation des images par des actions de formation et d'animation scientifique. Les résultats de plusieurs projets appuyés dans le cadre de ces actions font l'objet de publications dans ce numéro spécial Afrique.

Mots clés : télédétection, SPOT, occupation du sol, renforcement des capacités, animation scientifique

Abstract

Despite the increasing openness and democratisation of satellite data and associated processing tools, the use of these data and the information derived from them remains relatively limited in the Southern countries. For several years now, initiatives have been launched to improve access and use by local actors. This paper presents the results of 3 successive projects funded by the French Development Agency in Central and West Africa between 2010 and 2020. These projects, led by IGN FI and the French National Research Institute for Sustainable Development (IRD), have provided some answers to the main challenges identified by local partners such as: access to data, improving data processing skills, raising awareness among decision-makers and land managers of the information and services that can be derived from it, reference land cover maps production by local teams, and the development and structuring of user networks. This paper presents the actions and results in three areas of intervention, namely (i) the free provision of recent high-resolution data, (ii) the local production of forest cover and land use change maps and (iii) the promotion of the use of images through training and scientific activities. The results of several projects supported within the framework of these actions are published in this special Africa issue.

Keywords: remote sensing, SPOT, land cover, capacity building, scientific animation

Introduction

Les applications issues de l'utilisation de l'imagerie satellitaire contribuent à la réalisation des objectifs de développement durable (ODD) à travers, entre autres, l'amélioration de la gestion des ressources naturelles, la limitation de risques de catastrophe ou la sécurité alimentaire et l'agriculture.

Face au constat de la persistance de capacités insuffisantes en Afrique, notamment issues de la méconnaissance de ces nouvelles technologies, du manque de ressources financières ou de lacunes en

termes de compétences techniques (Romijn et al., 2015 ; UNCTAD, 2020), de nombreuses initiatives, dont celles présentées dans ce papier, ont vu le jour afin de favoriser l'adoption des technologies spatiales pour la conception, la mise en œuvre et le suivi des politiques publiques.

En décembre 2009 lors de la COP15 à Copenhague, la France annonce qu'elle va mettre à la disposition des pays du bassin du Congo une couverture complète de cette zone avec des images des satellites SPOT, récentes et d'archive. Ainsi démarrent en 2010 le programme OSFT¹, puis en 2012 GEOFORAFRI², et enfin en 2016 OSFACO³.

¹ Observation Spatiale des Forêts tropicales, projet financé par l'Agence Française de Développement (AFD), piloté par IGN FI associé au CNES, à l'IGN et à l'IRD, de 2011 à 2015.

² Renforcement des capacités et accès aux données satellitaires pour le suivi des forêts en Afrique Centrale et de l'Ouest, projet

financé par le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM), piloté par l'IRD de 2012 à 2017.

³ Observation Spatiale des Forêts d'Afrique Centrale et de l'Ouest, projet financé par l'AFD, piloté par IGN FI et par l'IRD, associés au CNES et à l'IGN, de 2016 à 2020.



Figure 1 : pays d'Afrique Centrale et de l'Ouest ayant bénéficié d'accompagnement par les projets OSFT, GEOFORAFRI et/ou OSFACO.

Ces trois projets complémentaires ont permis, pendant près de dix ans, la diffusion d'images satellites à un grand nombre d'équipes d'Afrique Centrale et de l'Ouest, et leur accompagnement dans l'utilisation des données. Ce papier revient sur les principales activités menées et leurs résultats.

1. Mise à disposition d'images satellites

Des couvertures d'images SPOT successives ont été acquises, sur programmation, pour couvrir les pays bénéficiaires : une première couverture des pays du Bassin du Congo autour de l'année 2010 (+/- 2 ans), avec des images multispectrales SPOT4 et SPOT5, puis une couverture de huit pays d'Afrique Centrale et de l'Ouest, autour de l'année 2015, avec des images SPOT5 et SPOT6/7 (voir figures 1 à 3), apportant ainsi de nouvelles perspectives d'utilisation grâce à leur résolution plus fine.

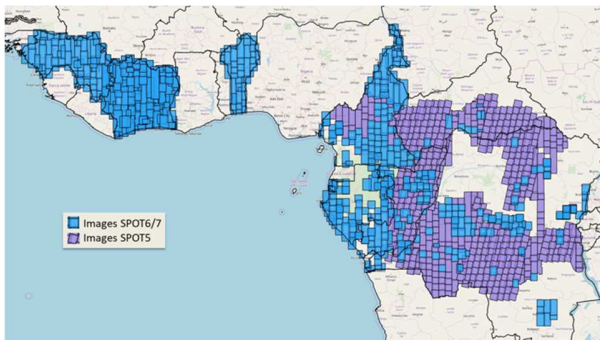


Figure 2 : zones couvertes par les images SPOT6/7 et SPOT5 disponibles pour l'année 2015 (+/- 2 ans).



Figure 3 : exemple d'image mise à disposition : image SPOT6, acquise en juin 2015 sur la province de l'Ogooué-Maritime au Gabon. L'image présentée ici couvre une zone d'environ 60km x 42km (l'image source a une résolution de 6m). Composition colorée présentée ici : infrarouge couleur. Coordonnées du repère placé sur l'image : - 0.9443, 9.2893 (soit 0°56'39.5"S 9°17'21.5"E).

Enfin, la totalité des images d'archive SPOT1 à SPOT5 acquises entre 1986 et 2012 a été mise à disposition dans le cadre du programme SPOT World Heritage (SWH) du CNES, OSFACO ayant contribué au financement de ce programme. Plus de 40 000 scènes SPOT ont ainsi été produites et sont dorénavant disponibles, sur les zones illustrées par la figure 4 ci-dessous (voir Annexe : télécharger des images satellites en accès libre).

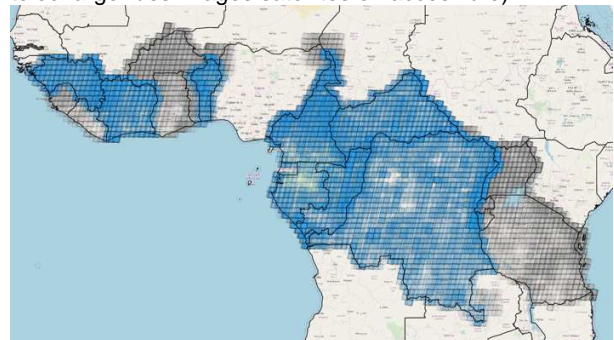


Figure 4 : zones couvertes par les images d'archive SPOT1, 2, 3, 4, 5 produites par le CNES dans le cadre du programme SWH (en bleu les huit pays OSFACO).

Plus de 200 demandes d'images ont été reçues et traitées par l'équipe de pilotage du projet. D'autres ont été traitées localement, les images étant distribuées par les « points focaux OSFACO » dans les pays. En effet, une licence spécifique de distribution a été établie par Airbus, permettant au comité de pilotage IGN FI-IRD-IGN-CNES d'une part, ainsi qu'à « l'Autorité Nationale » de chacun des pays d'autre part, de diffuser les images gratuitement. Aucune restriction sur la quantité d'images distribuées ou sur le profil des utilisateurs, mais des critères d'éligibilité, adaptés au contexte des pays : champs d'application REDD+ pour les pays majoritairement forestiers du Bassin du Congo (licence « REDDSPOT »), puis élargissement à l'agriculture (licence « AFOR » pour les pays d'Afrique de l'ouest) et aux autres types d'occupation du sol (licence

« AFAT » pour le Gabon). Ces licences ont été perçues par certains comme une contrainte, ce qui a probablement restreint la diffusion des images au démarrage. Sur ce constat, le rôle des points focaux a été renforcé dans OSFACO, par rapport au projet précédent OSFT, afin qu'ils deviennent eux-mêmes moteurs de la diffusion des données et transforment ainsi la contrainte initiale en une opportunité de meilleure appropriation par les pays. Ces licences spécifiques ne concernent toutefois que les images récentes acquises sur programmation pour les projets OSFT ou OSFACO. Les images d'archive SWH, quant à elles, peuvent être diffusées librement pour tout usage non commercial.

Les projets utilisateurs des images sont de type et de tailles variables : ainsi le projet de Zonage Agro-écologique de Guinée (cf. article de Jaffrain et al. dans ce même numéro) a exploité les couvertures complètes de la Guinée, soit environ 250 000 km², en images SPOT6/7 pour l'année 2015, et images SPOT4/5 pour l'année 2005, alors que d'autres projets n'ont sollicité qu'une ou quelques scènes SPOT, pour des études plus locales.

2. Appui à la production locale de cartographie forestière et occupation du sol

Plusieurs projets de cartographies thématiques, basés sur les images satellites, ont été réalisés ou accompagnés (appui financier et/ou méthodologique), dans le cadre des programmes OSFT, GEOFORAFRI et OSFACO.

Les programmes OSFT et GEOFORAFRI ont permis la réalisation des cartographies de l'occupation du sol de plusieurs pays d'Afrique Centrale (Cameroun, RCA, Gabon, Congo), pour l'année 2010 et évolution sur les 10 ou 20 années précédentes, ciblant principalement l'évolution du couvert forestier.

Le programme OSFACO a ensuite accompagné les mises à jour de certaines de ces cartographies pour l'année 2015, avec plus de détails sur les occupations du sol autres que forestières : en particulier la production par l'AGEOS des cartographies d'occupation du sol 2015 sur le Gabon (article de Nzigou Boucka et al. soumis pour publication dans ce même numéro).

OSFACO a aussi apporté aux équipes techniques du Cameroun et du Congo expertise et accompagnement méthodologique pour la validation de leurs cartographies nationales respectives d'occupation du sol. Les travaux concernant le Cameroun ont été présentés à Washington en décembre 2018, dans le cadre de la réunion d'automne de l'American Geophysical Union (Ngangoum et al, 2018), ceux concernant le Congo sont présentés par Ifo et al. dans ce même numéro.

Le Bénin a aussi été accompagné par l'apport d'équipement, l'organisation de formations et un suivi méthodologique, pour la production, par une équipe de la DGEFC (Direction Générale des Eaux, Forêts et Chasse) de la cartographie de l'occupation du sol du Bénin en 2015 (cf. figure 5), basée sur la couverture du pays en images SPOT6/7, ainsi que la cartographie des changements d'occupation du sol survenus entre 2005 et 2015 (basés sur une couverture d'images d'archive SPOT). Un atlas a été publié sur la base de ces travaux (Ahononga et al, 2021).

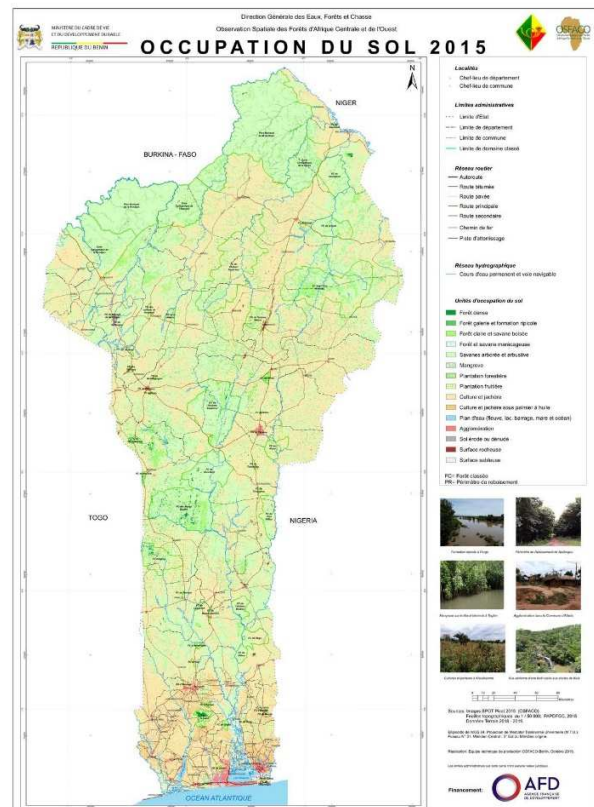


Figure 5 : carte d'occupation du sol 2015 sur le Bénin, publiée par la DGEFC.

3. Promotion de l'utilisation de l'imagerie satellitaire

La dernière composante de ces projets portait sur le renforcement des capacités et moyens en termes de suivi spatial des terres et la promotion de l'utilisation de l'imagerie satellitaire. Trois axes ont été privilégiés pour répondre aux enjeux locaux, à savoir : (i) la mise en œuvre de modules de formation en télédétection et SIG dont le contenu a été co-construit avec les partenaires locaux, (ii) le financement de micro-projets de recherche appliquée à travers plusieurs appels à projets et (iii) une animation scientifique permettant un partage d'expériences et la diffusion des résultats des équipes appuyées à travers l'organisation de séminaires, ateliers nationaux et conférences scientifiques. Une attention particulière a été portée à la restitution de l'impact de ces activités par des actions de communication (entre autres par le site web du projet) et les publications.

3.1. Renforcement des capacités

La figure 6 illustre les actions de formation et l'assistance technique apportée par les projets successifs. Globalement, entre 2014 et 2019, plus de 300 participants issus des services techniques des administrations partenaires, du monde académique et de la société civile (ONG) ont bénéficié de 26 modules de formation, soit 260 jours de formation sur site. La définition des modules de formation ainsi que la sélection des participants sont issues de diagnostics des besoins et priorités réalisés par

l'équipe projet à travers des études préparatoires et ateliers dans les pays. Parallèlement à ces formations, les projets ont assuré la livraison et l'installation de matériels

et logiciels, soit environ 70 ordinateurs, permettant le renforcement et/ou la mise en place localement de laboratoires et salles de formation.

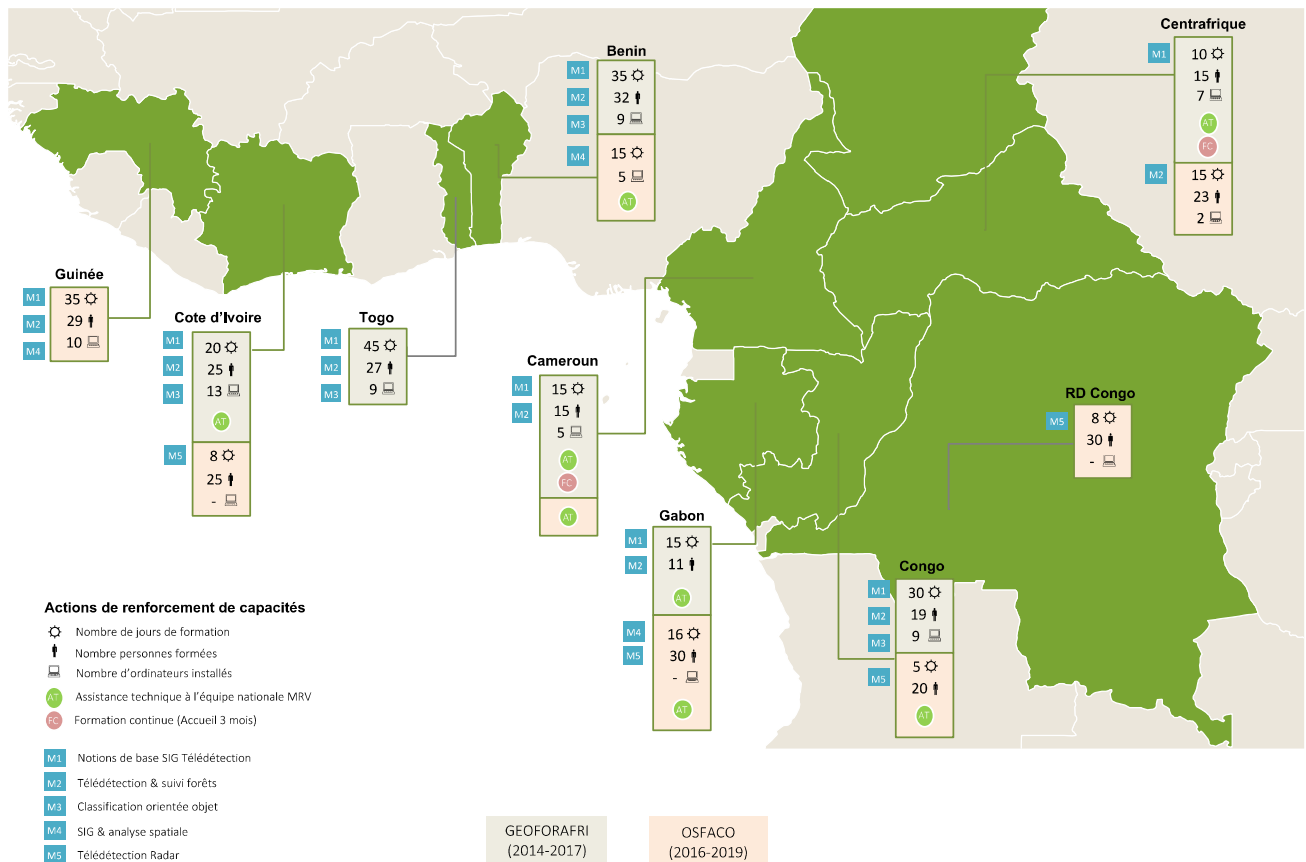


Figure 6 : actions de formation conduites par les projets GEOFORAFRI et OSFACO.

3.2. Micro-projets de recherche

Entre 2013 et 2016, trois appels à propositions de projet de recherche appliquée et développement d'applications opérationnelles ont été lancés, portant sur la « promotion et valorisation de l'utilisation des données satellitaires d'observation de la Terre pour l'ensemble des activités liées au suivi de l'utilisation des terres et du changement d'utilisation des terres, à l'agriculture et à la gestion durable des ressources forestières en Afrique Centrale et de l'Ouest ». Les propositions reçues des équipes locales ont été soumises à l'évaluation d'un comité scientifique composé de membres de l'équipe projet et experts extérieurs. A la suite de ces évaluations, 47 projets ont

bénéficié de financements pour un montant total de subventions de recherche de l'ordre de 1M€, soit environ 25.000€ par projet d'une durée moyenne de 18 mois. La figure 7 illustre la répartition des projets par pays et par thématique couverte.

Ces projets de recherche ont été portés par des équipes d'Afrique centrale et de l'ouest, issues d'universités, d'administrations, du secteur privé ou d'ONG, et dont les activités portaient sur les applications de la télédétection à l'agriculture, au suivi de la déforestation et de la dégradation des forêts, à la gestion de la biodiversité ou encore au suivi des mangroves.

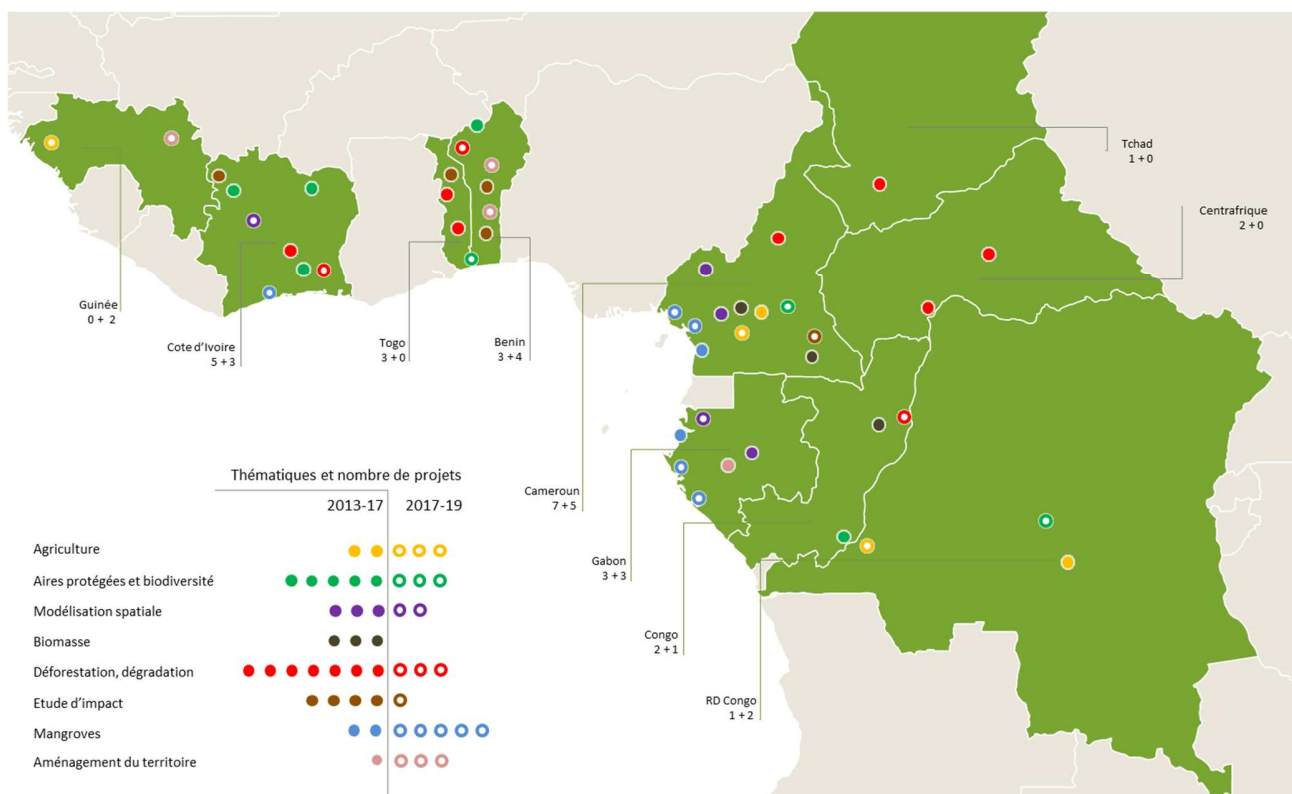


Figure 7 : micro-projets de recherche mis en œuvre dans le cadre des projets GEOFORAFRI et OSFACO.

La plupart des projets ont organisé un atelier de restitution de leurs résultats de projet dans les zones d'étude concernées. Les résultats des projets de recherche ont fait l'objet de nombreuses communications et publications scientifiques, dont Adjonou et al. (2020), Nyembo et al. (2020) et Tchindjang et al. (2016), ou encore Djaouga et al. soumis pour publication dans ce même numéro. Mertens et Pinet (2019) présente une synthèse des résultats et perspectives des 20 projets de recherche menés en 2017-2018 avec le soutien du projet OSFACO, et reprend l'ensemble des publications issues des recherches menées.

3.3 Animation scientifique et valorisation

Parallèlement au déroulement des projets et des ateliers ou séminaires organisés par les équipes de recherche, le volet animation scientifique des projets GEOFORAFRI et OSFACO prévoyait l'organisation d'ateliers nationaux dans les pays bénéficiaires de projets de recherche, et des conférences régionales afin de permettre aux équipes de recherche de présenter les résultats. Ces ateliers ont également permis des échanges avec les institutions techniques concernées dans les pays et les partenaires techniques et financiers : ces ateliers ont été organisés en collaboration étroite avec les points focaux OSFACO des pays bénéficiaires recherchant une coordination avec les événements organisés par d'autres projets/partenaires (e.g. OFAC, FAO, UE).

Les ateliers de bilan nationaux ont été organisés dans la quasi-totalité des pays partenaires. Les tableaux 1 et 2 reprennent les principales conférences internationales

portées par les projets GEOFORAFRI et OSFACO, et les conférences co-organisées avec d'autres initiatives régionales. Une sélection des interventions réalisées lors de la dernière conférence OSFACO tenue à Cotonou a été publiée dans les actes de la conférence (Mertens et Orekan, 2019).

Intitulé	Lieu – date	Participants
Observation par satellite : de la forêt au carbone, de la recherche aux stratégies nationales	Yaoundé, 2014	170
Observation spatiale pour la gestion durable des forêts en Afrique	Abidjan, 2016	160
Images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique	Cotonou, 2019	170

Tableau 1 : Conférences portées par les projets GEOFORAFRI et OSFACO

Partenaire	Lieu – date	Participants
Centre de Cartographie et Télédétection, BNETD, Côte d'Ivoire	Abidjan, 2014	225
Observatoire des Forêts d'Afrique Centrale	Libreville, 2014	95
Université de Ngaoundéré	Ngaoundéré, 2015	160
Université Jean Lorougnon Guédé, Côte d'Ivoire	Daloa, 2017	190

Partenaire	Lieu – date	Participants
Université Abomey-Calavi, Bénin	Cotonou, 2019	170

Tableau 2 : Conférences co-organisées par les projets GEOFORAFRI et OSFACO

Conclusion

L'offre en images satellites, en particulier celles accessibles gratuitement, est aujourd'hui de plus en plus large et diversifiée. Toutes les données Landsat sont accessibles gratuitement depuis 2008 et les données Sentinel sont libres d'accès depuis le lancement de ces satellites (2014 pour Sentinel 1 et 2015 pour Sentinel 2) (voir Annexe : télécharger des images satellites en accès libre). On peut citer aussi le programme lancé en 2020, financé par la Norvège à travers son initiative pour le climat et les forêts (NICFI), mettant à disposition gratuitement des données à très haute résolution sur toutes les régions tropicales. Mais force est de constater que cette disponibilité croissante ne suffit pas à ce que le développement d'applications ou de services basés sur ces données suive le même rythme dans la plupart des pays d'Afrique sub-saharienne : les informations géospatiales et les produits dérivés restent peu utilisés. La série de programmes OSFT, GEOFORAFRI, OSFACO, financée par la coopération française, aura contribué à ce développement à travers une approche innovante et adaptée en réponse aux besoins des partenaires et utilisateurs. Certains aspects fondamentaux restent toutefois à consolider pour que l'appropriation des technologies spatiales soit réelle et pérenne. Les prérequis nécessaires sont, entre autres, la mise en place d'un environnement favorable (politique et infrastructures des données), la structuration des réseaux de compétences ou la co-construction de services opérationnels adaptés aux demandes locales. Tonneau et al. (2019) détaille ces éléments pour les applications dans l'agriculture, mais ces constats et recommandations peuvent être généralisés aux autres domaines d'application des technologies spatiales pour le développement durable des territoires et, plus globalement, pour la réalisation des objectifs de développement durable.

Annexe : télécharger des images satellites en accès libre

Sont indiqués ci-après quelques liens vers des sites permettant de télécharger des images satellites en accès libre, couvrant l'ensemble du globe. Il faut généralement créer un compte utilisateur sur ces sites avant de pouvoir accéder au téléchargement effectif des données.

- Accès aux images Sentinel :

<https://scihub.copernicus.eu> (site en anglais)

Le "Copernicus Open Access Hub" fournit un accès complet, gratuit et ouvert aux produits de la famille des satellites Sentinel, qui assurent une couverture mondiale, depuis 2014 pour les images radar S1 et 2015 pour les images optiques S2.

<https://scihub.copernicus.eu/dhus>

Au sein de cette plateforme, accès direct à l'interface graphique interactive permettant d'effectuer des recherches de données en spécifiant certains critères (zone d'intérêt, dates d'acquisition, etc.) :

<https://peps.cnes.fr> (site en français)

PEPS - Plateforme d'Exploitation des Produits Sentinel - est la plateforme française (CNES) pour accéder aux produits des satellites Sentinel S1A et S1B, S2A et S2B, S3A et S3B.

- Accès aux images Landsat :

<https://earthexplorer.usgs.gov> (site en anglais)

Cette plateforme permet d'accéder à l'ensemble des images des satellites américains Landsat, assurant une couverture mondiale : Landsat 8 depuis 2013, et les satellites précédents Landsat 1 à 7, dont les images d'archive permettent de remonter jusqu'à 1972.

- Accès aux images d'archive SPOT1 à SPOT5 :

<https://regards.cnes.fr/user/swh> (site en français)

Le programme SPOT World Heritage (SWH) mis en place par le CNES met gratuitement à disposition du public l'archive des satellites SPOT 1, 2, 3, 4 et 5. La catalogue propose des images (scènes de 60x60 km) acquises depuis 1986 jusqu'à 2015 (couverture mondiale).

De nombreuses autres plateformes de téléchargement existent, proposant des critères de recherche variés et des pré-traitements plus ou moins avancés sur les données.

Références

Adjonou, K., Bindaoudou, I., Segla, K., Idohou, R., Salako, K., Glele-Kakai, R., Kokou, K. 2020. Land use – land cover patterns and challenges to sustainable management of the transboundary biosphere reserve between Togo and Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14(5) :1734-1751.

Ahononga F.C., Awessou B. K., Kouton M. D., Plagbéto H. A., Orékan O.V., Toko Imorou I., Pinet C. & Mertens B., 2021. Atlas cartographique de la dynamique de l'occupation du sol au Bénin entre 2005 et 2015. 338 pages. ISBN 978-99982-0-734-9. Dépôt légal N°12881 du 09/02/2021. Bibliothèque Nationale du Bénin. 1er trimestre.

Mertens, B., Pinet, C., Eds., 2019. Images satellites et gestion durable des territoires : applications et enjeux en Afrique Centrale et de l'Ouest. OSFACO, 63p.

Mertens, B., Orekan, V.O.A. Eds. Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique. Actes de la Conférence OSFACO, 13-15 mars 2019, Cotonou, Bénin. <https://hal.archives-ouvertes.fr/osfaco>

Ngangoum Nana T., Siwe R., Sannier C., Ghoms H., Jaffrain G., 2018. Using 2-stage sampling approach to estimate forest loss uncertainty for the Emission Reduction Program in Cameroon. AGU Fall Meeting, 10-14 déc 2018, Washington D.C.

Nyembo, F., Mertens, B. Mamadou, C., Koné, I. 2020. Menaces d'origine anthropique et habitat de *Pan paniscus* dans la réserve naturelle de Sankuru en République démocratique du Congo. *Eur. Sci. Journal*, 13 (21)1857-1881.

Romijn, E., Lantican C., Herold, M., Lindquist, E., Verchot, L. 2015. Assessing change in national forest monitoring capacities of 99 tropical countries. *Forest ecology and management*, 352: 109-123.

Tchindjang, M., Saha, F., Levang, P., Voundi E., Njombissie, E., Minka, F. 2016. Palmeraires élitistes et villageoises et développement socio-économique dans la Sanaga maritime : impacts, conséquences et perspectives. *Revue Scientifique et technique Forêt Environnement du Bassin du Congo*, 7 :37-52.

Tonneau J.-P., Bégué A., Leroux L., Augusseau X., Faure J.-F., Mertens B., Pinet C., Tomasini L., 2019. L'information géospatiale au service de l'agriculture africaine, un investissement essentiel pour les politiques agricoles. Cirad, Montpellier, Perspective 51.

UNCTAD, 2020. Exploring space technologies for sustainable development and the benefits of international research collaboration. Commission on science and technology for development, March 2020.

LEGENDES EN ANGLAIS:

Figure 1: Central and West African countries that have been supported by OSFT, GEOFORAFRI and/or OSFACO projects.

Figure 2: areas covered by SPOT6/7 and SPOT5 images available for the year 2015 (+/- 2 years).

Figure 3: example of image made available: SPOT6 image, acquired in June 2015 over the Ogooué-Maritime province in Gabon. The image presented here covers an area of approximately 60km x 42km (the source image has a resolution of 6m). Colour composition shown here: colour infrared. Coordinates of the marker placed on the image: - 0.9443, 9.2893 (i.e. 0°56'39.5 "S 9°17'21.5 "E).

Figure 4: areas covered by SPOT1, 2, 3, 4, 5 archive images produced by CNES in the framework of the SWH programme (in blue the eight OSFACO countries).

Figure 5: 2015 land cover map of Benin, published by the DGEFC.

Figure 6: training activities conducted by the GEOFORAFRI and OSFACO projects.

Figure 7: small research projects implemented under the GEOFORAFRI and OSFACO projects.