

LES FORÊTS, UN PATRIMOINE VITAL À PROTÉGER

Comment préserver les forêts? Comment soutenir les efforts internationaux pour stopper la déforestation? Quels outils développer pour une gestion durable des ressources forestières? La recherche en télédétection explore ces questions devenues capitales.

Les forêts couvrent plus de 4 milliards d'hectares, soit près d'un tiers des terres émergées de la planète. Si seulement 300 millions de personnes y vivent, plus d'un quart de la population mondiale, c'est-à-dire 1,6 milliards de personnes, dépendent des ressources forestières pour leur subsistance. Ce milieu exceptionnel assure de multiples fonctions qui motivent la communauté internationale à mettre en place une gestion durable des ressources forestières.

Au niveau économique, l'exploitation des forêts fournit chaque année plus de 3 milliards de m³ de bois et nourrit un commerce important de produits non ligneux: poissons, gibier, rotin, bambou, liège, résine, noix, champignons, épices, huiles essentielles, miel, etc. Les forêts jouent également un rôle social de premier plan: quotidiennement utilisées à des fins de loisirs, d'activités récréatives, de tourisme, d'éducation et de conservation du patrimoine, elles sont partout un point de contact privilégié entre l'homme et la nature.





Au point de vue environnemental enfin, les écosystèmes forestiers sont au centre de processus fondamentaux. Ils contribuent à

- l'épuration de l'air (extraction des poussières, production d'oxygène par les forêts en accroissement):
- la préservation et la stabilisation des sols (protection contre l'érosion);
- la purification de l'eau (trois quarts de l'eau douce accessible provient des bassins versants des forêts):
- la régulation hydrologique (prévention du risque d'inondation grâce à leur capacité de rétention) et thermique (humidification et rafraîchissement de l'atmosphère ambiante grâce à l'évapotranspiration).

Ils offrent aussi des habitats très divers à la faune et à la flore, hébergeant ainsi 80 % de la biodiversité mondiale.

Depuis les années 1980, leur impact crucial sur la (dé)régulation du climat est mis en avant. Les écosystèmes forestiers (y compris la biomasse, le bois mort et le sol) "séquestrent" plus de 650 milliards de tonnes de carbone, soit plus que la totalité du carbone présent dans l'atmosphère. La déforestation massive, en particulier dans les grandes forêts primaires de la ceinture tropicale (Amazonie, Afrique centrale, Asie du Sud-Est), en libérant ces stocks de carbone, contribue à l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et donc au réchauffement climatique.

En 2008, sous l'égide des Nations Unies, l'initiative REDD a vu le jour (Réduction des émissions issues de la déforestation et de la dégradation des forêts), afin d'inciter les États concernés à préserver leurs forêts tropicales. Son principe est de donner aux pays en développement qui renoncent à la déforestation ou la réduisent, des compensations financières pour combler le manque à gagner induit par ce renoncement. Le programme REDD a rapidement été élargi à REDD+ qui inclut la gestion durable des forêts, ainsi que des mesures de conservation et d'accroissement des stocks de carbone forestier par le biais de restaurations ou de nouvelles plantations.

Ces initiatives s'inscrivent dans une volonté affichée au niveau international de freiner le déboisement (environ 13 millions d'hectares en moyenne chaque année, ce qui correspond à deux fois la superficie de l'Irlande), et de préserver durablement l'ensemble des bienfaits fournis par les forêts.

La recherche en observation de la Terre contribue à ces efforts en permettant le développement d'outils d'estimation et de surveillance plus performants, de l'échelle globale (bilan carbone, vastes changements du couvert, productivité...) jusqu'au niveau le plus local (étendue, composition, structure ou état sanitaire du peuplement).

PUITS OU SOURCE DE CARBONE ?

Pour soutenir les programmes de réduction des gaz à effet de serre, il est essentiel de pouvoir quantifier et prévoir la dynamique de la végétation et des flux de carbone qui y sont associés. La végétation constitue en effet un puits de carbone primordial. Par la photosynthèse, elle assimile le CO₂ présent dans l'atmosphère pour produire de la matière organique et réduit ainsi la concentration des gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique. Mais les interventions de l'homme inversent la tendance. La déforestation et la dégradation des forêts constituent même les mécanismes majeurs de basculement de puits de carbone en sources de carbone. On estime en effet que les feux volontaires, l'exploitation non durable et la conversion des forêts en pâturages, terres agricoles et infrastructures diverses sont responsables d'environ 20 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre, soit plus que la totalité du secteur des transports.

Ces perturbations anthropiques, bien qu'ayant un effet déterminant, étaient jusqu'à présent peu prises en compte dans les modélisations du cycle du carbone, notamment dans le modèle ORCHIDEE. Ce modèle global et dynamique de la biosphère continentale inclut des processus biophysiques, biogéochimiques et écologiques. Il prend en compte les flux de CO₂ et d'énergie entre le sol et l'atmosphère ainsi que certaines composantes hydrologiques et est exploité dans les grands modèles climatiques utilisés par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) ou par le programme REDD. Outre les perturbations anthropiques, la variabilité saisonnière et interannuelle des flux de carbone à l'échelle des régions tropicales constitue un autre paramètre à définir avec plus de précision.

Des réseaux de "tours à flux" fournissent des mesures des quantités de carbone échangées entre un écosystème (ici la forêt amazonienne) et l'atmosphère. Ces mesures, couplées à d'autres données, permettent de suivre en continu le devenir du CO₂ dans une forêt.



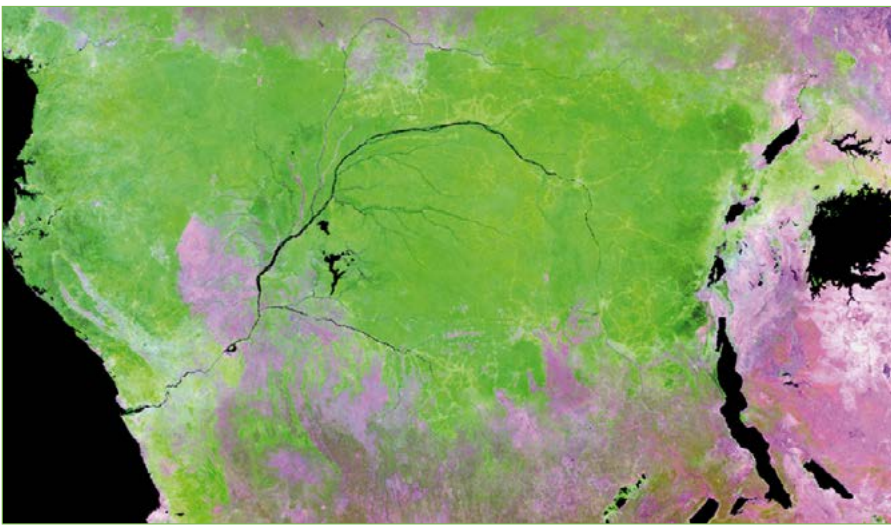
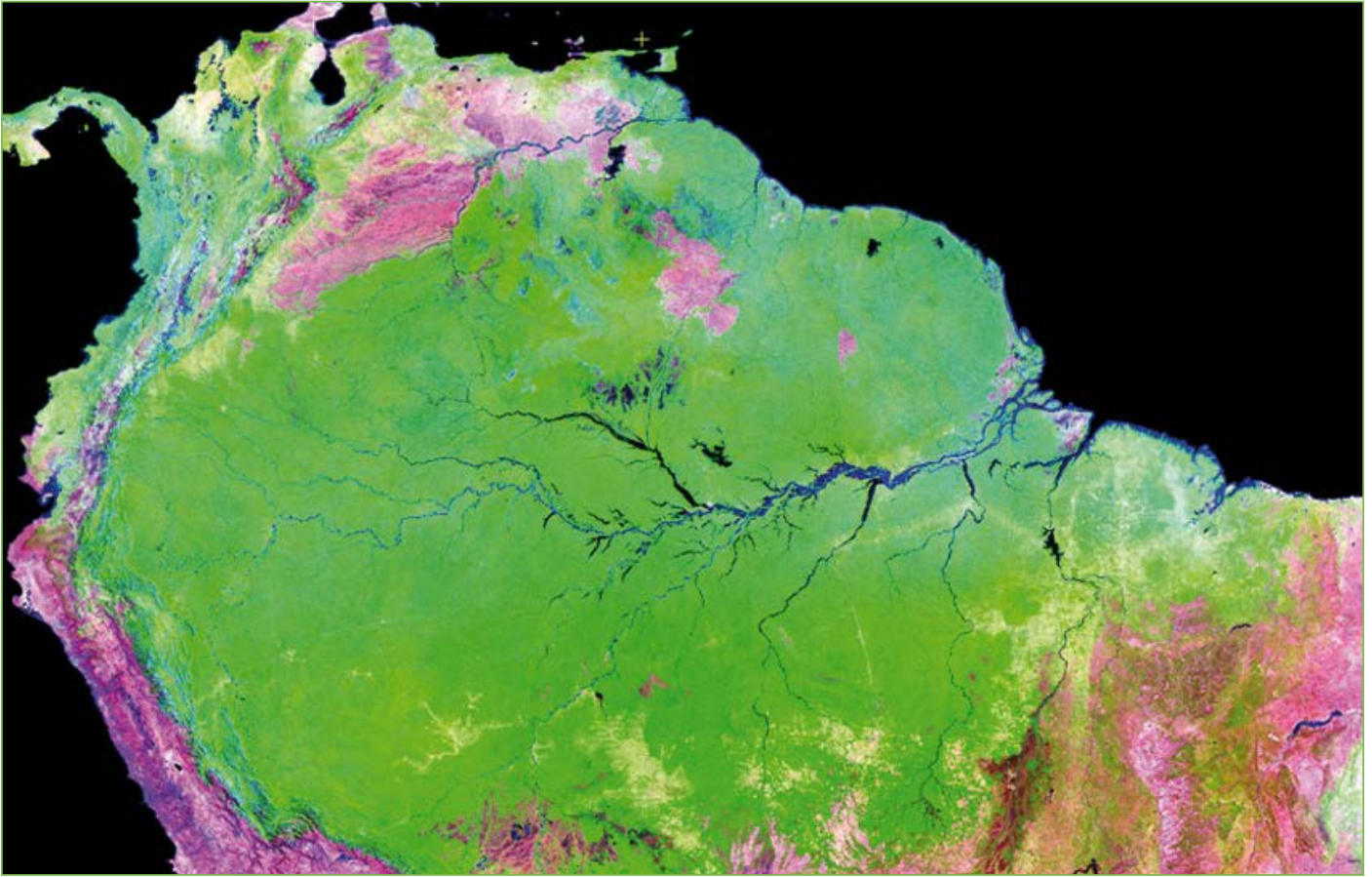
Le but du projet **VEGECLIM** est d'améliorer la prévision du cycle du carbone terrestre dans les régions tropicales et ceci en intégrant de façon dynamique, dans le modèle global ORCHIDEE, les caractéristiques de la surface continentale obtenues à partir de 10 ans de séries temporelles d'images SPOT VEGETATION (type de végétation, évolution saisonnière et annuelle, zones sèches, coupées, brûlées, etc.). La principale innovation de ce grand projet de cinq ans est la mise en place d'une étroite collaboration entre les chercheurs en observation de la Terre et les experts en modélisation de la surface terrestre.

Traditionnellement les modèles globaux ou régionaux sont alimentés par des informations provenant de cartes existantes, de relevés de terrain, de données climatiques ou de données satellitaires de faible résolution (de l'ordre de 4 kilomètres) et statiques (à un moment donné). En intégrant dans le modèle ORCHIDEE la dimension temporelle et les classifications de sol plus précises dérivées de SPOT VEGETATION (1 km de résolution), les chercheurs ont pu améliorer l'estimation des stocks et des flux réels de carbone dans les bassins de l'Amazonie et du Congo.

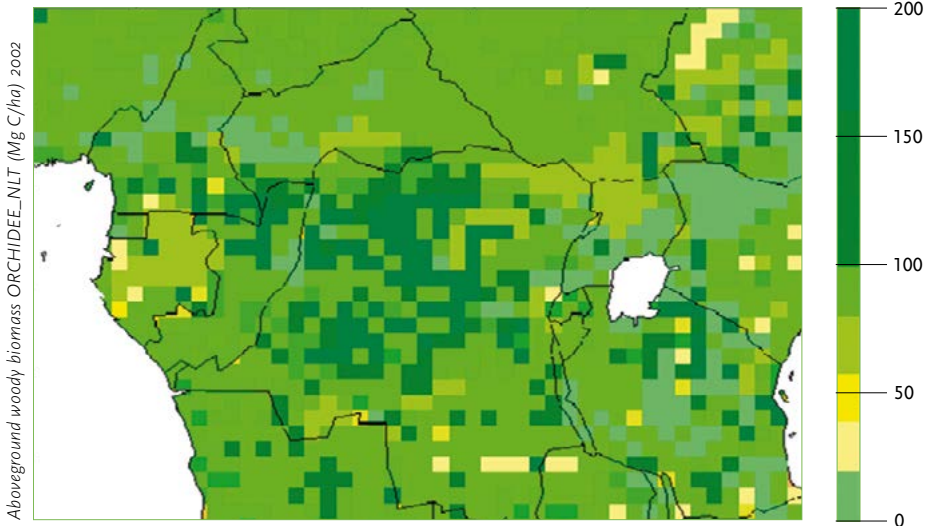
Ils ont notamment testé le modèle avec les résultats de simulation de déforestation en République démocratique du Congo (RDC), afin d'établir des projections de l'évolution des stocks et des flux de carbone jusqu'en 2035 selon différents scénarios climatiques. Les avancées du projet **VEGECLIM** devraient donc permettre de déterminer si le bilan en carbone terrestre de la RDC reste négatif ou devient positif, faisant basculer la RDC de puits en source de carbone. Jusqu'ici relativement préservée, la forêt primaire d'Afrique centrale, deuxième massif forestier tropical après la forêt amazonienne, est en effet de plus en plus menacée par la dégradation et la déforestation, principalement au profit de l'exploitation industrielle. Les résultats obtenus contribueront donc à définir les politiques les plus pertinentes à adopter dans le cadre des mécanismes REDD+ ou d'autres stratégies d'atténuation des facteurs du changement climatique. L'étude pourrait d'ailleurs s'étendre à l'ensemble du bassin du Congo grâce à une modélisation optimisée des changements de la couverture des sols.

Outre ces résultats, deux produits globaux ont été mis à la disposition de la communauté scientifique : une carte pluriannuelle de la couverture terrestre et une base de données de référence sur la phénologie du feuillage. Par ailleurs, une carte globale des forêts du monde a été créée et utilisée comme pivot d'une exposition grand public destinée à attirer l'attention sur l'importance mais aussi la vulnérabilité des forêts.

FORÊTS DU MONDE



Composites fausses couleurs des bassins de l'Amazonie et du Congo produits sur base d'images journalières SPOT VEGETATION. Pour le bassin du Congo, la carte donne la biomasse ligneuse aérienne (troncs, branches, feuilles...) en Mg C/ha, telle qu'estimée par le modèle ORCHIDEE.



Aboveground woody biomass ORCHIDEE_NLIT (Mg C/ha) 2002



L'EXPOSITION IMAGING THE WORLD'S FORESTS

À l'occasion de l'Année internationale des forêts, en 2011, l'exposition itinérante *Imaging the world's forests* a été réalisée conjointement par la Politique scientifique fédérale, le VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek) et l'Université catholique de Louvain. Son objectif est de montrer au grand public l'utilité de l'observation de la Terre par satellite pour la gestion et la préservation des forêts du monde.

Une série d'images satellitaires remarquables y mettent en évidence de grands enjeux actuels : déforestation et reforestation, feux de savanes et de forêts, mangroves menacées, etc. Une carte globale des forêts du monde, classifiées en 7 types principaux, a également été produite à partir d'images SPOT VEGETATION récoltées pendant 10 ans (2000-2010). L'exposition a circulé à Bruxelles, Charleroi, Louvain, Mons et dans les Centres régionaux d'initiation à l'environnement de la Région wallonne, et est toujours visible à l'Euro Space Center à Transinne, ainsi qu'en ligne sur le site eoedu.belspo.be/forests.

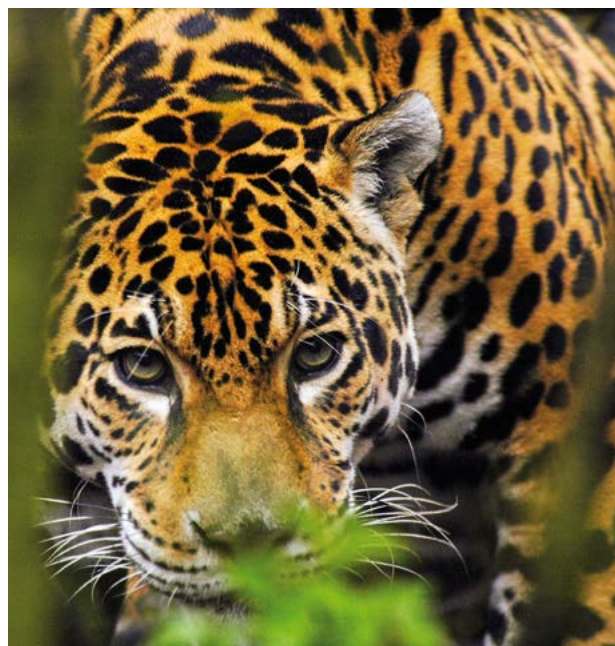
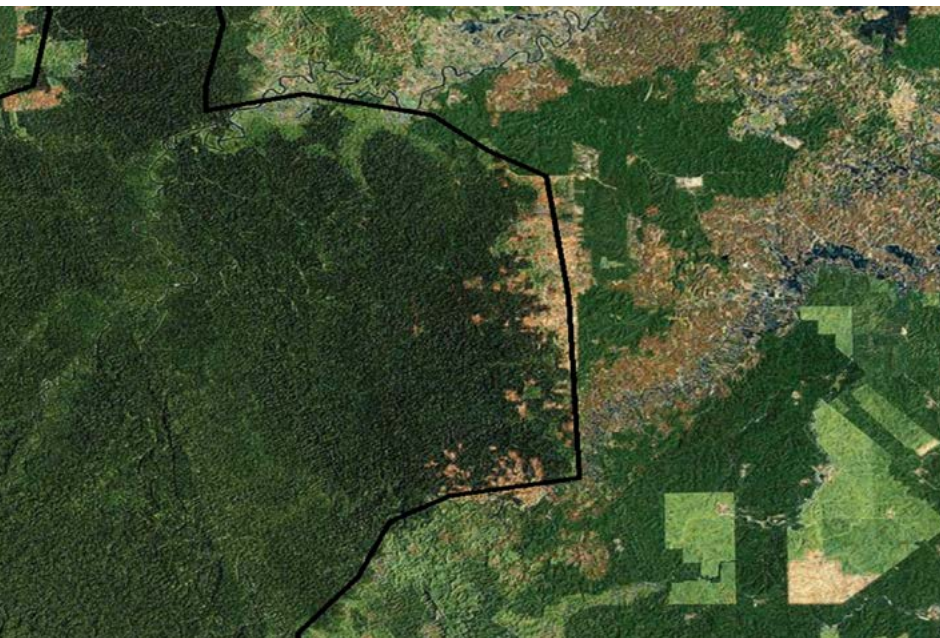


AIDER L'UNESCO À SURVEILLER LES FORÊTS TROPICALES

Les forêts tropicales ont une valeur naturelle et culturelle inestimable. Outre leur rôle primordial dans la régulation du climat et dans le cycle de l'eau notamment, elles constituent un réservoir de biodiversité sans pareil. Les forêts tropicales humides en particulier hébergent à elles seules plus de la moitié des espèces animales et végétales de notre planète. Afin de préserver cette richesse exceptionnelle, l'Unesco a déjà classé au rang de patrimoine mondial plus de 80 sites composés majoritairement de forêt tropicale humide. Si le Comité du patrimoine mondial décide du classement d'un site, il doit également en examiner l'état de conservation, de façon à pouvoir prendre des mesures lorsque le site est menacé. Or, l'évaluation annuelle de l'état de conservation des différents sites est rendue difficile par leurs superficies importantes et leur inaccessibilité. À titre d'exemple, 18 % seulement des sites inscrits au patrimoine mondial ont été évalués lors du Comité tenu en 2013.

Pour gérer et donc protéger au mieux ce précieux patrimoine, l'Unesco devrait disposer d'outils semi-automatiques de détection des changements. Le défi du projet **UNESCO-WATCH** est par conséquent de développer une méthode opérationnelle basée sur l'imagerie satellitaire pour évaluer, à intervalles réguliers, l'état de conservation des forêts tropicales humides classées au patrimoine mondial. Afin d'observer les pressions externes s'exerçant sur ces sites, une zone tampon de 20 kilomètres a été tracée autour du périmètre du site protégé. Le suivi de cette zone tampon permet également de déterminer l'impact des mesures de protection aux alentours directs du site concerné.

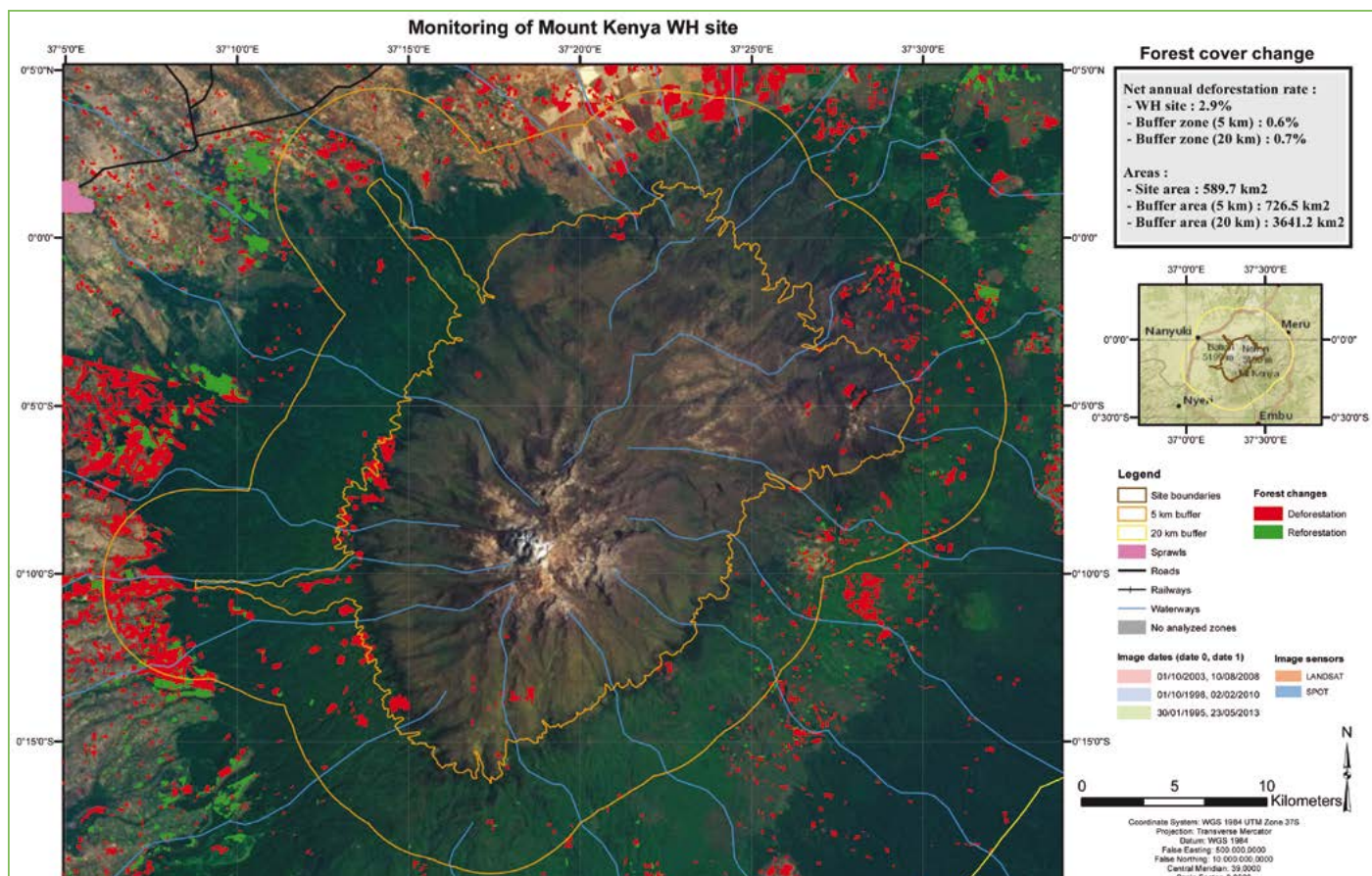
Les forêts tropicales ombrophiles de Sumatra en Indonésie font partie des sites du patrimoine forestier en péril. Sur cette image SPOT, on voit clairement que la déforestation, déjà importante dans la zone tampon, commence à grignoter les frontières du site.



Les chercheurs ont sélectionné 15 sites-tests qui diffèrent par leur type de végétation (des mangroves aux forêts de montagne), leur étendue (de 150 000 hectares à plus de 5 millions) et leur localisation géographique (répartis sur toute la ceinture tropicale). Au total, la superficie des sites analysés correspond à environ cinq fois la Belgique. Les sites choisis ont en commun une biodiversité exceptionnelle, certains hébergeant des espèces emblématiques comme le panda géant dans le Sichuan (Chine), le jaguar à Calakmul (Mexique) ou les gorilles du Parc des Virunga (en RDC).

L'étude a analysé un très grand nombre d'images Landsat (30 mètres de résolution) et SPOT HR (10 mètres) couvrant trois périodes : les années 1990, 2000 et 2010. L'originalité du traitement des images consiste à regrouper des pixels voisins ayant des caractéristiques semblables, appelés objets. Ces objets ont une superficie moyenne d'un hectare. La détection de changement se réalise ensuite sur ces objets pour visualiser les variations par entités et non par pixels. Cette approche permet de tenir compte du contexte autour de chaque pixel et contribue à une meilleure caractérisation de la dynamique du changement.

À titre de prototypes, des cartes de 12 des sites sélectionnés ont été produites sous forme de fichiers pdf interactifs, afin de faciliter leur utilisation tant par l'Unesco que par les gestionnaires locaux. Ces cartes permettent de visualiser les changements du couvert végétal à l'intérieur de la zone protégée, qu'ils soient négatifs (déforestation, dégradation) ou positifs (reforestation, régénération), mais aussi d'identifier les menaces potentielles qui naissent le long de ses frontières (défrichement, déboisement, extension des terres agricoles, etc.).



Exemple d'un fichier pdf cliquable fourni aux gestionnaires de sites du patrimoine. Pour le site du Mont Kenya, les zones de déforestation sont marquées en rouge, les zones de reforestation en vert, le périmètre du site du patrimoine en brun foncé et celui de la première zone tampon (5 km) en brun clair.

INVERSER LE MOUVEMENT : LA REFORESTATION

D'une importance cruciale pour toutes les formes de vie, les forêts sont pour l'homme une source qui semble inépuisable de biens et de services écosystémiques. Si l'augmentation de la demande agro-alimentaire globale accélère la conversion des forêts en terres agricoles, dans certaines parties du monde pourtant le couvert forestier est en expansion. La "transition forestière" qualifie le passage de la déforestation à la reforestation. De nombreux pays industrialisés ont déjà expérimenté cette transition tandis que, dans la plupart des pays en développement, elle n'en est qu'à ses débuts ou n'a pas encore eu lieu.

Le projet **FOMO** a pour objectif d'évaluer la dynamique de ces transitions forestières, ainsi que leur impact sur les services écosystémiques. L'étude porte en particulier sur des régions montagneuses car l'abandon des terres agricoles et la régénérescence de la forêt se produisent le plus souvent sur des terres marginales c'est-à-dire peu productives et/ou à l'accès difficile.

Afin de permettre une analyse comparative, trois sites ont été choisis dans des contextes géographiques très différents : les montagnes des Carpates en Europe de l'Est, les Andes du Nord en Équateur et une vallée au Bhoutan dans la chaîne de l'Himalaya.

Pour développer des outils de suivi des changements du couvert forestier dans les régions montagneuses, l'imagerie satellitaire est une source d'information privilégiée. Elle fournit en effet des données détaillées, fiables, actualisées et à moindre coût sur des zones peu accessibles. Au terme de cinq ans, la recherche a mené à des avancées méthodologiques importantes :

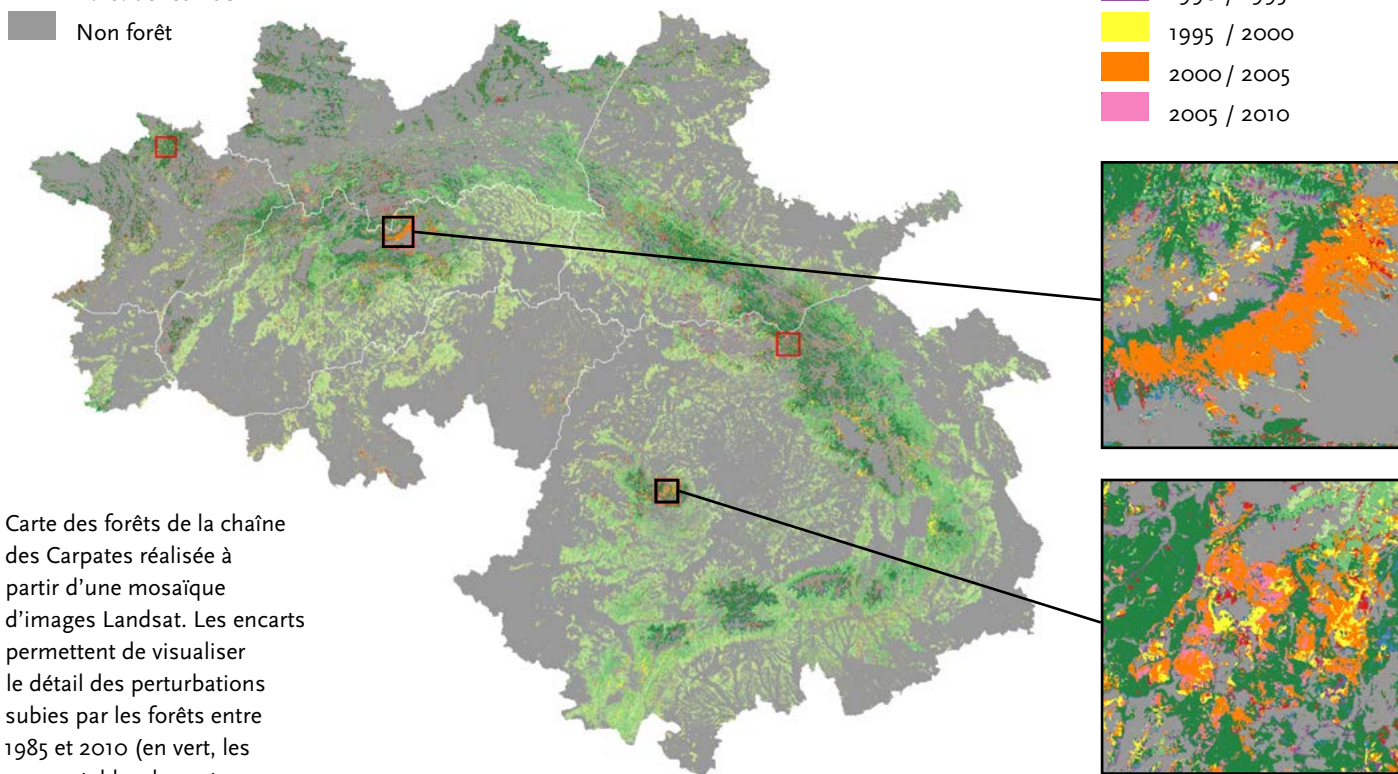
- des techniques de correction atmosphérique et topographique (effets d'ombres) ont été optimisées pour les terrains montagneux. Le relief escarpé et accidenté perturbe en effet la "lisibilité" des images ;
- un processus automatique de cartographie du couvert forestier à large échelle a été développé à partir d'un assemblage d'images Landsat (30 mètres de résolution) ;
- des méthodes innovantes ont été mises au point pour détecter les changements du couvert forestier sur des périodes courtes ou longues.

Basées sur des images WorldView-2 à très haute résolution, ces méthodes sont suffisamment précises pour permettre d'identifier les espèces d'arbres. En Équateur, par exemple, les chercheurs ont pu déterminer la présence de bosquets de pins ou d'eucalyptus, des espèces exotiques qui ont été implantées au détriment de l'écosystème naturel à cette altitude, le páramo.

FORÊTS DU MONDE

- Forêt de conifères
- Forêt mélangée
- Forêt de feuillus
- Non forêt

- avant 1985
- 1985 / 1990
- 1990 / 1995
- 1995 / 2000
- 2000 / 2005
- 2005 / 2010



Carte des forêts de la chaîne des Carpates réalisée à partir d'une mosaïque d'images Landsat. Les encarts permettent de visualiser le détail des perturbations subies par les forêts entre 1985 et 2010 (en vert, les zones stables, les autres couleurs correspondent à des périodes différentes de perturbations).

Ces reboisements sont soutenus par le gouvernement pour favoriser la production de bois et participer aux efforts de séquestration du carbone dans le cadre des programmes de lutte contre le réchauffement climatique. Ces bénéfices sont néanmoins contrebalancés par une série d'effets négatifs tels que le déclin de la biodiversité et une diminution de la capacité à emmagasiner l'eau, ce qui entraîne une perturbation de la régulation des débits d'eau et une menace potentielle pour la stabilité des pentes après les récoltes.

Le projet **FOMO** a ainsi d'une part mis en évidence les liens qui existent entre les changements du couvert forestier et la prestation des services écosystémiques et d'autre part produit des outils de détection et de quantification de ces liens. Ces résultats constituent un apport important pour les décideurs et les gestionnaires des écosystèmes forestiers, que ce soit au niveau local, régional, national ou global. Ils peuvent en effet les aider à adopter des stratégies d'utilisation des terres plus adaptées à une gestion durable des ressources fournies par les forêts.

Dans les Andes équatoriennes, la déforestation est clairement visible au centre de cette photo. Un peu plus haut, on discerne également des îlots de pins et eucalyptus, arbres exotiques replantés au détriment de l'écosystème naturel.



QU'EST-CE QU'UNE FORÊT ?

Selon les définitions de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), les forêts sont "des terres portant un couvert arboré supérieur à 10 % sur une superficie de plus de 0,5 hectare. Les arbres devraient pouvoir atteindre une hauteur minimale de 5 mètres à maturité". Quant aux forêts primaires, elles sont "des forêts formées d'espèces indigènes où aucune trace d'activité humaine n'est clairement visible et où les processus écologiques ne sont pas sensiblement perturbés."

Par ailleurs, la Conférence ministérielle pour la protection des forêts en Europe, tenue à Helsinki en 1993, définit la gestion durable des forêts comme "la gestion et l'utilisation des forêts et des terrains boisés d'une manière et à une intensité telles qu'elles maintiennent leur diversité biologique, leur productivité, leur capacité de régénération, leur vitalité et leur capacité à satisfaire, actuellement et pour le futur, les fonctions écologiques, économiques et sociales pertinentes aux niveaux local, national et mondial, et qu'elles ne causent pas de préjudices à d'autres écosystèmes."



LA SAVANE, UNE FORÊT PARTICULIÈRE

Parsemée d'une basse végétation d'arbres et d'arbustes, la savane est un type particulier de forêt qui requiert des outils spécifiques de surveillance. Le projet **GRAZEO** s'est focalisé sur le Parc national Kruger en Afrique du Sud, dont les savanes s'étendent sur plus de deux millions d'hectares. Le projet met l'accent sur la structure, la composition et la qualité de la végétation naturelle, des facteurs clés de l'habitat et du comportement des grands herbivores locaux.

L'objectif principal de **GRAZEO** est en effet d'améliorer les modèles développés par le projet EPISTIS pour estimer le risque de transmission de la fièvre aphteuse entre les buffles sauvages confinés dans la réserve animalière et le bétail situé en dehors. L'abondance et la qualité du fourrage sont des paramètres déterminants pour la distribution du bétail et des buffles dans les

pâturages de savane. Leur évaluation, couplée au risque de destruction des clôtures, permet donc de mieux cerner les risques de contact entre ces deux populations.

Dans cette optique, **GRAZEO** a exploré le potentiel des données WorldView-2 pour la cartographie des espèces d'arbres (solitaires ou en bosquets), des surfaces enherbées, de la biomasse herbacée ainsi que de la concentration en azote, tous des indicateurs de disponibilité et de qualité du fourrage. Ces indicateurs sont ensuite introduits dans des modèles adaptés et divers scénarios sont testés afin de déterminer leur contribution dans l'estimation des risques de contact. En tirant profit des avantages du capteur WorldView-2, les chercheurs ont pu développer de nouvelles méthodes permettant la production de cartes régionales détaillées pour les

FORÊTS DU MONDE

environnements de savane, jusqu'alors généralement non disponibles. La très haute résolution spatiale des images (de l'ordre de 50 centimètres) permet de faire face à la grande variabilité spatiale des savanes (alternance de prairies herbeuses et de bouquets d'arbres) et est compatible avec les distances parcourues par les animaux.

Le capteur offre également une diversité spectrale particulière : en plus des bandes spectrales usuelles du visible et du proche infrarouge, 4 canaux supplémentaires sont disponibles, parmi lesquels le jaune et le red-edge qui autorisent une meilleure discrimination arbres/herbe.

Les résultats de **GRAZEO** servent en première instance à combattre la propagation de la fièvre aphteuse autour du Parc Kruger. L'objectif est de

fournir aux gestionnaires du Parc l'information nécessaire pour adapter la lutte contre cette maladie très contagieuse, en leur permettant notamment de localiser les zones prioritaires d'intervention (vaccination, renforcement des clôtures, etc.). Mais la portée des résultats dépasse ce cas d'étude. La méthodologie et les produits développés peuvent en effet être utilisés pour le suivi des changements au niveau régional dans tous les écosystèmes de savane.

Ils devraient aider à mieux comprendre l'impact sur ces écosystèmes particuliers de facteurs environnementaux locaux (utilisation des sols, densité du bétail et des autres populations d'animaux, feux de brousse) ou globaux (l'évolution climatique).



La différence de couverture végétale entre l'intérieur et l'extérieur du Parc Kruger est clairement visible sur cette photo. Au sein du Parc (à gauche), les gestionnaires maintiennent une végétation de type savane tandis que de l'autre côté des barrières, la végétation naturelle est intacte.





DES PEUPEMENTS EN 3D

Une gestion durable de la forêt ne peut se concevoir sans un suivi de son état général. Les gestionnaires forestiers doivent disposer de données fiables et régulièrement mises à jour sur des paramètres importants comme la diversité des peuplements, les espèces qui les composent et la vitalité des arbres.

Le travail de récolte de données sur le terrain, autrefois long et fastidieux, est actuellement de plus en plus soutenu par des instruments de télédétection aéroportés de différents types. L'imagerie hyperspectrale, par exemple, se montre utile pour identifier les espèces d'arbres et appréhender l'état sanitaire du feuillage, mais ses observations ne portent que sur la partie supérieure de la forêt, la canopée. Le LiDAR, capteur actif émettant un faisceau laser, fournit quant à lui, de l'information en 3D sur la structure de la forêt (hauteur des arbres, présence de sous-étages) et sur sa densité.

Le projet **HYPERFOREST** a cherché à déterminer si l'information en trois dimensions offerte par le LiDAR peut enrichir le traitement des images hyperspectrales de façon à pouvoir fournir aux gestionnaires forestiers une information plus fiable et plus détaillée. Les chercheurs ont sélectionné trois sites forestiers situés en Flandre et présentant une structure de complexité croissante : la réserve intégrale Kersselaerspleyn, en Forêt de Soignes, qui présente un peuplement homogène de hêtres ; la Forêt de Wijnendale, l'un des plus importants domaines forestiers de Flandre occidentale, où l'essence dominante, le chêne, côtoie des érables, hêtres, noisetiers, mélèzes... ; et l'Aelmoeseneiebos, la forêt expérimentale de l'Université de Gand aux essences mixtes (chêne, hêtre, frêne, mélèze...) et au sous-bois foisonnant.

Mené durant cinq ans, le projet a livré des résultats concrets, largement documentés et publiés :

- la correction géométrique des images hyperspectrales a pu être améliorée. La hauteur d'un arbre provoque en effet un déplacement de sa position sur une image hyperspectrale. Grâce au LiDAR, cette composante verticale peut être prise en compte et l'emplacement de la couronne peut donc être déterminé avec plus de précision ;
- les informations supplémentaires fournies par le LiDAR ont également permis d'améliorer la classification des espèces d'arbres et de déterminer plus précisément le degré de fermeture du couvert, qui est un indicateur important de l'état de la forêt ;
- d'autres apports des données LiDAR ont été mis en évidence. Celles-ci permettent notamment de déterminer si une partie de la couronne est exposée au soleil ou non, l'identification de l'espèce étant plus difficile dans ce dernier cas. Elles se montrent aussi utiles pour mieux délimiter les couronnes d'arbres.

Pour affiner encore les résultats, le projet **HYPERFOREST** a exploité, parallèlement aux données aéroportées, deux autres sources d'information. D'une part, un capteur LiDAR placé au sol qui aide à générer une représentation plus claire de la strate inférieure de la forêt. D'autre part, un modèle complexe dénommé DART qui permet de relier le signal hyperspectral enregistré et les propriétés biophysiques et biochimiques de la végétation, ces dernières influençant de manière directe l'état sanitaire des arbres.

Par l'intermédiaire de l'Institut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO), l'un des partenaires du projet, les gestionnaires de forêts ont été impliqués dans toutes les étapes de l'étude. Ils ont non seulement collecté des données de référence sur le terrain mais ont également veillé à la pertinence des recherches pour les utilisateurs finaux. Les types de produits et d'applications à mettre au point ont sans cesse été discutés et adaptés aux besoins réels (par exemple la cartographie des espèces et le degré de fermeture du couvert). Les résultats finaux ont d'ailleurs été présentés aux utilisateurs à l'occasion d'un workshop qui leur était destiné.



La Forêt de Wijnendale vue par le capteur hyperspectral APEX en fausses couleurs (page précédente) et en couleurs réelles. L'image fausses couleurs est produite à partir des valeurs enregistrées dans 3 longueurs d'ondes précises situées dans le proche infrarouge, dans le rouge et dans le bleu. La végétation apparaît en rouge et les différentes tonalités de rouge traduisent soit différents stades d'évolution, soit des espèces différentes.

CARTOGRAPHIER LA DYNAMIQUE

Plusieurs études ont déjà exploré l'utilité des séries temporelles d'images satellitaires pour suivre l'évolution de la végétation. La majorité des techniques traditionnelles comparent les réponses spectrales d'un ensemble de pixels donné sur une période donnée, par exemple tous les mois durant 10 ans. Mais ces approches ne prennent en général pas en compte ni le contexte spatial (la valeur des pixels ou groupes de pixels voisins), ni le contexte temporel (les valeurs des mêmes pixels à des périodes différentes). De plus, ces procédures se basent rarement sur une classification hiérarchique, c'est-à-dire qui regroupe les données, de niveau en niveau, en segments similaires. Elles ne parviennent donc pas à mettre en évidence les mécanismes spatio-temporels complexes qui sont à l'œuvre dans la nature, où la plupart des processus écologiques sont reliés spatialement et organisés de façon hiérarchique.

L'objectif du projet ECOSEG est par conséquent de développer une méthode de classification optimisée qui inclut l'information temporelle dans la segmentation hiérarchique de l'image. De manière innovante, le projet tente d'intégrer le contexte d'un pixel dans toutes ses composantes (spectrale, spatiale et temporelle) afin de pouvoir préciser sa classification dans un niveau hiérarchique inférieur.

Le milieu forestier constitue un environnement idéal pour valider une telle méthode, du fait de la complexité de ses réponses, tant spatiales que temporelles, aux facteurs de stress (par exemple, les insectes et autres agents pathogènes, la sécheresse, les feux). Des séries temporelles de plusieurs paramètres biophysiques ont donc été utilisées comme indicateurs clés de la santé des forêts. Au terme du projet, les chercheurs ont développé une méthodologie et un algorithme qui devraient permettre de déterminer avec plus de précision la dynamique des écosystèmes forestiers et donc de mieux comprendre leur fonctionnement.

