

SURVEILLANCE PLANETAIRE



BELGIAN EARTH
OBSERVATION

Projets financés par les programmes belges de
recherche en Observation de la Terre Telsat 4
(1996-2000) et PADD1 Plan d'Appui scientifique à une
politique de Développement Durable (1997-2002)

Introduction

La population mondiale ne cesse d'augmenter tandis que la superficie et les ressources disponibles restent stationnaires. D'ici à 2025, on prévoit une augmentation de la population mondiale s'élevant à 3 à 4 milliards environ, et ce principalement dans les pays les moins aptes à être confrontés aux conséquences d'une telle croissance démographique et du développement qui y est lié. La terre se trouvera ainsi de plus en plus sous pression, pensons seulement au déboisement à large échelle, au déclin des zones naturelles, à la pollution, aux changements climatiques...

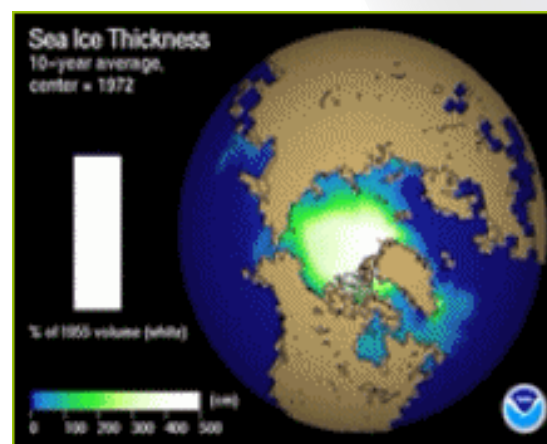
Cette évolution peut avoir des conséquences désastreuses, à moins que le développement économique et la gestion des ressources naturelles de la terre ne se fassent avec une approche durable. Au cours de la dernière décennie, on a pris conscience du fait que la terre est une vaste entité vivante et que des phénomènes se produisant d'un côté de la terre pouvaient avoir de lourdes conséquences de l'autre côté. El Niño et l'effet de serre en sont des exemples frappant.

Les autorités du monde entier commencent à réaliser cela et concluent toute une série de traités internationaux et de conventions, tels que la Convention climatique, le Protocole de Kyoto pour la réduction des gaz à effet de serre, la Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone, la Convention UN sur la diversité biologique, etc.

Par ailleurs, les institutions financières internationales, comme la Banque mondiale et le Fonds Monétaire International, assortissent de plus en plus leur appui financier aux économies en développement d'une condition de politique dirigée vers un développement durable.

Les satellites sont les instruments par excellence et souvent les seuls aptes à étudier les processus au niveau mondial, les interactions entre les océans, les continents et l'atmosphère. Ils permettent le suivi des changements sur de larges étendues et donc l'acquisition d'une meilleure compréhension des phénomènes. Ils sont utilisés pour observer la végétation, cartographier les changements dans l'utilisation des sols, mesurer la concentration d'ozone, suivre les températures des océans,...

De cette manière, ils offrent aux politiciens les informations nécessaires à l'adoption d'options compatibles à un développement durable de notre planète.

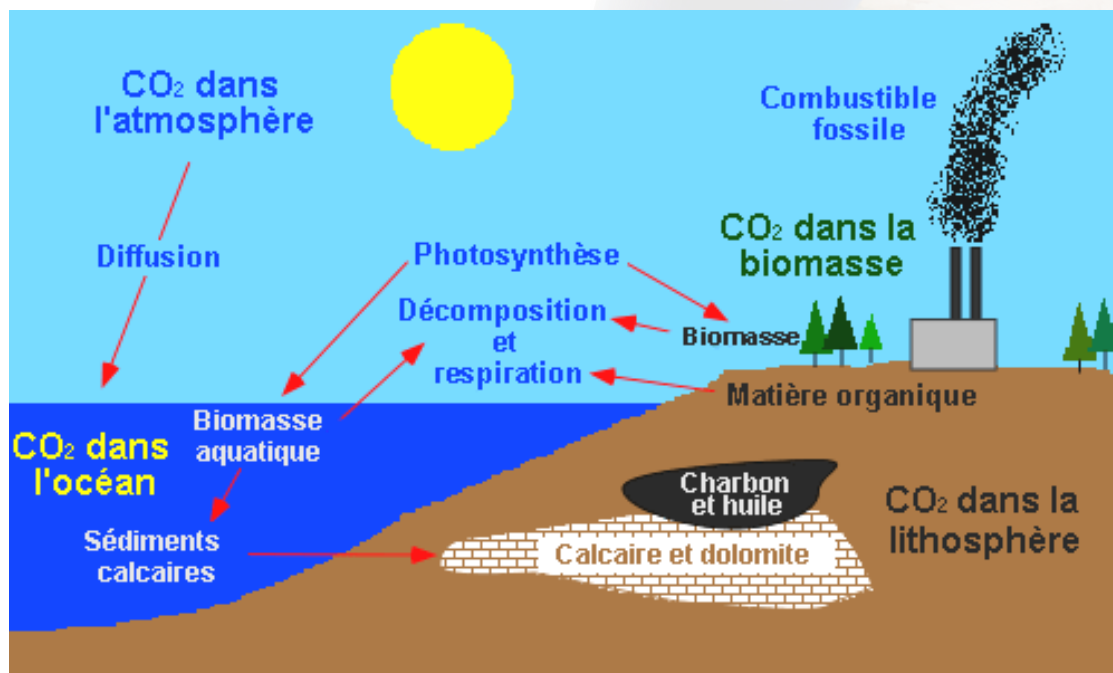


LE CO₂ ET LES PLANTES

CO₂ : Nous en produisons trop

Les plantes absorbent le dioxyde de carbone (CO₂) présent dans l'atmosphère par la photosynthèse. Toutefois, la respiration des plantes et la décomposition des matières organiques (feuilles mortes, branches, etc.) dans et à la surface du sol émettent également du CO₂. L'équilibre entre l'absorption et le rejet de CO₂ est un point important dans les discussions pour la réduction des gaz à effet de serre (Convention Cadre concernant les changements climatiques, Le protocole de Kyoto). L'amplification du phénomène d'effet de serre peut en effet partiellement s'expliquer par une augmentation de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère résultant principalement de l'activité de l'homme, telle que la combustion de combustibles fossiles.

L'identification et la prévision des changements dans les mécanismes d'absorption et de rejet du carbone par les plantes et la végétation sont deux données capitales dans la problématique du changement global.



Le cycle du carbone

Courtesy of "Fundamentals of Physical Geography" <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9r.html>

LE CO₂ ET LES PLANTES

Le satellite enregistre

Deux méthodes sont traditionnellement utilisées pour étudier au moyen d'appareils de mesure le taux de CO₂ et le bilan de carbone dans les régions boisées, à savoir des modèles d'écosystèmes et des mesures sur le terrain. Le bilan de carbone correspond à la différence entre l'absorption et l'émission ou le rejet de carbone. Seules les mesures locales sont prises en considération pour une région définie.

Si l'on souhaite connaître l'équilibre du CO₂ pour une région géographique plus vaste, pour la Belgique par exemple, il convient dans ce cas-là de calculer ou d'extrapoler ces mesures, tant en temps qu'en espace, à partir de plusieurs observations locales. Dans les régions hétérogènes, la précision de ces calculs dépend par conséquent fortement du nombre de points d'étude. La télédétection offre dans ce cas-ci les données nécessaires pour pouvoir mener ces procédés à plus grande échelle évitant ainsi le recours à une technique d'extrapolation spatiale.

L'ordinateur calcule

Voilà pourquoi le VITO (Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek) a mis au point le modèle C-Fix. Il s'agit d'une méthode basée sur la télédétection et destinée à mesurer le bilan de carbone de la végétation pour une région géographique précise. Ce modèle ne tient pas uniquement compte des régions boisées, il définit également le bilan de carbone pour toute la Belgique; il effectue en outre cette analyse pour chaque espèce végétale et encode ensuite l'ensemble des données.

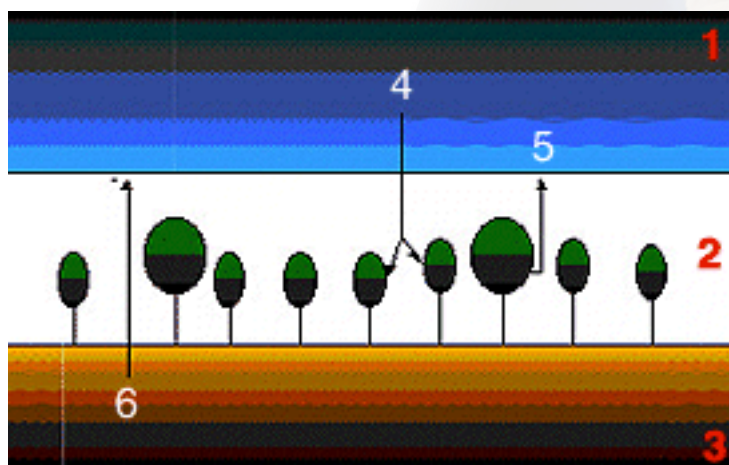
Concrètement, ce modèle permet de déterminer la productivité primaire brute (PPB), la productivité primaire nette (PPN) et la productivité nette de l'écosystème (PNE) pour chaque espèce végétale en Belgique sur base journalière et/ou annuelle.

LE CO₂ ET LES PLANTES

La productivité primaire brute (PPB) correspond à la quantité de CO₂ absorbée par la végétation et nécessaire à sa croissance par la photosynthèse. Toutefois, la végétation rejette également du CO₂ dans l'atmosphère au moyen de la respiration autotrophe (les pertes d'entretien comme elles sont communément appelées) et par la décomposition de la litière (branches, feuilles, etc.) sur le sol, appelée la respiration du sol ou respiration hétérotrophe. Dans ce contexte, la productivité primaire nette (PPN) de la végétation est égale à la photosynthèse brute ou productivité primaire brute moins la respiration autotrophe.

Nous pouvons définir la productivité nette de l'écosystème (PNE) de la végétation comme le produit de la soustraction entre la productivité brute et la respiration autotrophe et hétérotrophe.

L'illustration vous donne un aperçu de ces flux de carbone. Les différentes productivités (PPB, PPN & PNE) sont exprimées en nombre de grammes de carbone (C) absorbé par jour et par mètre carré [g C/m²/d].



Un aperçu des flux de carbone dans la végétation

1. Atmosphère
2. Végétation
3. Sol
4. Productivité primaire brute
5. Respiration autotrophe
6. Respiration hétérotrophe

Méthode et Résultats

Une multiplication

La Production Primaire brute (PPB) correspond dans le modèle C-Fix au produit de trois facteurs:

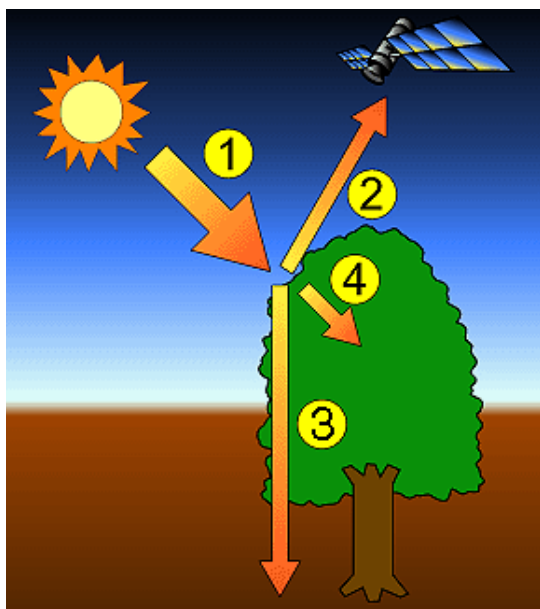
- l'efficacité climatologique ec
- le fAPAR
- le RUE.

La croissance des plantes et donc la PPB est étroitement liée à la température de l'air et à la quantité de rayonnement solaire émise.

Les pertes respiratoires autotrophes et hétérotrophes sont calculées en fonction de la température de l'air. A partir de ces données, on peut ensuite estimer la PPN et la PNE:

- $PPB = f(ec, fAPAR, ed, \text{température, rayonnement solaire})$
- $PPN = PPB - \text{respiration autotrophe}$
- $PNE = PPB - \text{respiration autotrophe et hétérotrophe}$

Le soleil se comporte comme un corps noir avec une température superficielle de plus de 6000 °C. Le soleil n'envoie pas que des rayons de lumière, il représente en outre une source d'énergie pour les êtres humains, les animaux et les plantes sur Terre. La lumière visible, qui ne représente qu'une partie de la lumière solaire émise, est non seulement importante pour la perception visuelle de l'homme et des animaux, mais elle l'est aussi pour les processus physiologiques des plantes comme la photosynthèse ou la croissance. Voilà pourquoi on parle également souvent de radiation photosynthétique actif (anglais : Photosynthetic Active Radiation ou PAR). Nous pouvons admettre que l'énergie émise par la PAR à la surface de la terre représente environ 50% du rayonnement solaire total. Ici, l'efficacité climatologique, ec , correspond à la part du PAR dans la radiation globale.



- 1: Rayonnement solaire
- 2: Réflexion
- 3: Transmission
- 4: Absorption

Seule une partie de ce rayonnement PAR est absorbée (= absorption) par la végétation; on parle également de fAPAR, la fraction ou efficacité du rayonnement PAR absorbé. Le reste de la lumière solaire émise est soit réfléchiée (= réflexion) soit elle traverse le feuillage pour atteindre le sol (= transmission). Les forêts possèdent une forte absorption de fAPAR et donc un faible niveau de réflexion et de transmission. Les valeurs typiques de fAPAR pour les forêts varient entre 0,8 et 1.

Méthode et Résultats

Les sols nus et la surface de l'eau possèdent un degré de réflexion beaucoup plus élevé et donc des valeurs fAPAR beaucoup plus faibles, allant de 0 à 0,1.

La troisième efficacité consiste à étudier dans quelle mesure la radiation PAR absorbé s'avère finalement utile dans la transformation du CO₂ en vue de la croissance de la végétation (fixation du carbone). On appelle également parfois cette efficacité, l'efficacité de l'utilisation du rayonnement ou RUE (Radation Use Efficiency). Elle renseigne sur l'efficacité de la conversion du rayonnement absorbé dans les matières sèches.

Combien de feuilles?

Dans le cas d'une localisation précise, par exemple une plante ou une forêt, la radiation photosynthétique active est calculée au moyen d'un capteur PAR également appelé «capteur quantique». Pour des régions géographiques plus vastes, on se base sur des données de télédétection permettant de définir la fAPAR. Pour ce faire, on peut faire appel à différents satellites comme le NOAA. Les images NOAA sont quotidiennement mises à jour et possèdent une résolution spatiale de 1,1 km x 1,1 km. Le satellite français SPOT convient également à cette application. Le satellite SPOT possède en outre une résolution plus précise de 20 x 20 m, mieux adaptée à l'échelle des plantes. Toutefois, le satellite SPOT présente l'inconvénient d'une plus faible résolution temporelle (26 jours).

Les satellites susmentionnés mesurent la quantité de rayonnement solaire réfléchi (= réflexion) par la surface de la terre et son recouvrement. Grâce aux mesures issues d'un capteur PAR ou aux mesures de télédétection, nous pouvons observer les différences entre les couvertures de sol comme l'eau, les forêts, les surfaces nues, etc. Mais les caractéristiques spectrales de la lumière réfléchie de la végétation peuvent également nous dévoiler certaines caractéristiques végétales plus concrètes. Nous pensons ici par exemple à la biomasse des feuilles, à la surface de la feuille, à la terre et à la quantité de pigments par feuille, etc.

Le paramètre le plus communément utilisé dans l'étude des caractéristiques végétales à partir d'images satellites est appelé le NDVI (Normalised Difference Vegetation Index). Le NDVI représente une échelle fiable en matière de présence végétale et varie entre 0 et 1: position basse pour les sols nus et zones urbaines (0,1) et élevée (0,9 - 1,0) pour les régions à forte densité végétale comme la forêt tropicale. Ces images NDVI permettent ensuite de calculer la fAPAR pour finalement estimer la PPB, PPN et la PNE.

Méthode et Résultats

Résultats

Le satellite NOAA photographie quotidiennement une région telle que la Belgique.

Dans le cas de l'application de C-Fix nous ne pouvons toutefois utiliser que les images prises par temps dégagé. Ainsi, en raison de la nébulosité dominante en Belgique, nous ne pouvons utiliser en moyenne qu'une quarantaine d'images par an.



Sur la base d'une telle image NOAA AVHRR, nous pouvons dès lors déterminer le NDVI et la fAPAR pour l'ensemble des pixels (éléments d'image) qui couvrent le territoire belge. Les zones qui apparaissent en noir correspondent aux villes (Bruxelles, Anvers, Gand, etc.), celles en blanc correspondent à des régions boisées.

Sur l'image ci-dessus vous pouvez observer le résultat de l'application du modèle C-Fix pour la Belgique. Les régions de Flandre, mais principalement de Wallonie (Massif ardennais) possédant la PPN (productivité primaire nette) la plus élevée, correspondent parfaitement aux zones boisées. Les grandes villes (Bruxelles, Anvers, Gand, Liège et Charleroi) avec leur niveau élevé d'urbanisation présentent le niveau de fixation de carbone le plus faible.

Les régions agricoles comme Haspengouw et la Leemstreek possèdent comparativement aux zones boisées une PPN plus faible.

Ce phénomène résulte d'une période de croissance plus courte et d'une moindre efficacité en matière d'absorption du rayonnement sur base annuelle.

Méthode et Résultats

Planter des arbres!

Dans les conditions climatologiques actuelles avec une température de l'air moyenne annuelle de 10°C et une teneur en CO₂ de 335 ppmv, la PPN pour l'ensemble du territoire belge s'élève à environ 2,38 Mtonnes C par an. Ce nombre représente la quantité de carbone absorbée chaque année par la végétation (sur le territoire belge). Sur le plan mondial, la quantité totale de la PPN est égale à 75.600 Mtonnes C par an; la PPN de la Belgique représente 0,0031 % de ce total. L'émission de CO₂ par l'industrie, les transports, l'agriculture et le secteur résidentiel (émission domestique) s'élevait en 1990 à 30,8 Mtonnes C en Belgique. Ceci signifie que seuls 7,7 % de ces émissions ont été à leur tour absorbées par la végétation. Si nous désirions par exemple compenser les émissions de CO₂ en Belgique par un reboisement, nous devrions reboiser une surface équivalente à 13 fois la superficie de la Belgique !

Les prévisions météorologiques du futur

Le C-Fix est un outil indispensable dans la prise de décision en matière de conséquences liées à l'effet de serre. L'augmentation de la teneur en CO₂ dans l'air ainsi que la hausse de la température exercent probablement un effet positif sur la fixation du carbone par la végétation. Différents scénarios peuvent être établis en matière de PPN en Belgique:

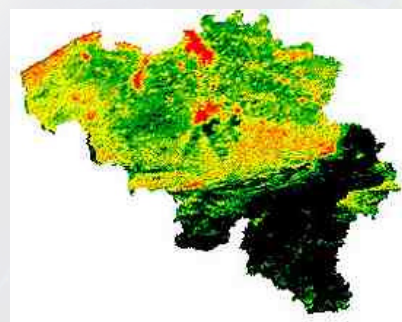
- Teneur en CO₂ stable (355 ppmv) et hausse de la température de 4° C (de 10° à 14°C).
- Une hausse du CO₂ passant de 355 ppmv à 445 ppmv et température stable (10°C).
- Une hausse du CO₂ passant de 355 ppmv à 455 ppmv et une augmentation de la température de 4°C (de 10° à 14°C).

Ainsi, nous pouvons déduire de ces chiffres que la quantité de carbone augmente au fur et à mesure que la température et la concentration en CO₂ augmentent (cette hausse de l'absorption de CO₂ n'évolue pourtant pas proportionnellement à l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère).

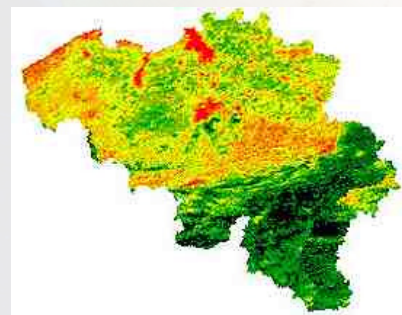
Cette simulation tente de mettre en évidence le comportement probable de la végétation suite à des changements climatologiques. Mais seul l'avenir nous dira comment tout cela se passera en réalité.



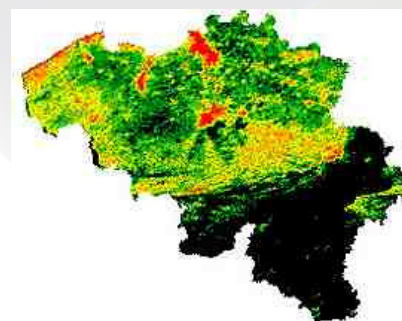
Valeur de la PPN pour la Belgique pour une température de 10°C et une concentration en CO₂ de 355ppmv



Valeur de la PPN pour la Belgique pour une température de 14°C et une concentration en CO₂ de 355ppmv



Valeur de la PPN pour la Belgique pour une température de 10°C et une concentration en CO₂ de 455ppmv



Valeur de la PPN pour la Belgique pour une température de 14°C et une concentration en CO₂ de 455 ppmv

Méthode et Résultats

Conclusions

La télédétection est un outil très utile dans le calcul de l'absorption de CO₂ par la végétation.

Les chiffres susmentionnés semblent nous indiquer que la superficie totale actuelle des zones boisées en Belgique ne suffit pas à compenser les émissions de CO₂. Même le reboisement ne suffirait pas à compenser totalement les émissions. La conclusion suivante s'impose donc malheureusement à nous : la problématique du CO₂ et de l'effet de serre qui en découle, ainsi que les changements climatiques ne peuvent se résoudre que par une réduction drastique de l'émission de CO₂ par le secteur industriel, résidentiel et le transport. Il en va par ailleurs de même pour les autres gaz à effet de serre.

Team

Coordinateurs

Frank Veroustraete
Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO)
Teledetectie en Atmosferische Processen (TAP)
Boeretang 200
B-2400 Mol

Tel : +32 (0)14 / 33.68.46
Fax : +32 (0)14 / 32.27.95
e-mail : veroustrf@vito.be

Jan Van Rensbergen
Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO)
Teledetectie en Atmosferische Processen (TAP)
Boeretang 200
B -2400 Mol

Tel : +32 (0)14 / 33.68.00
Fax : +32 (0)14 / 32.27.95
e-mail : vrensbej@vito.be

Partenaires

Hendrik Sabbe (VITO, TAP)
Yves Verheijen(VITO,TAP)

Résumé

Le climat sur la terre est défini par «le bilan radiatif» de notre planète. Un certain nombre de gaz présents dans l'atmosphère, les gaz à effet de serre (comme le CO₂, le méthane, l'ozone,...), influencent cet équilibre. Ces gaz absorbent les rayonnements infrarouges réfléchis par la terre et maintiennent ainsi la Terre 'à température', ce phénomène porte le nom d'effet de serre.

L'effet de serre est un phénomène naturel amplifié par l'émission de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre provenant des activités humaines (industries, transport, ...). L'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère entraîne une hausse de l'absorption des rayonnements infrarouges, l'effet de serre s'accroît et le climat se réchauffe.

Une hausse de la température...

Ce phénomène serait à la base de la hausse de température d'environ 0.5°C à la surface de la terre depuis le début du 20^{ème} siècle. Si le climat continue à se réchauffer, nous pourrions entre autres assister à la fonte des calottes glaciaires et à une hausse du niveau de la mer entraînant leur lot de catastrophes.

Les pays du monde entier tentent par tous les moyens de mettre fin à l'émission des gaz à effet de serre (la convention cadre concernant les changements climatiques, le protocole de Kyoto). La Belgique aussi s'est engagée à prendre les initiatives nécessaires en la matière.

...les plantes rafraîchissent?

La végétation pourrait favorablement influencer les concentrations en CO₂ dans l'atmosphère. En effet, les plantes absorbent le CO₂ présent dans l'atmosphère pour leur photosynthèse.

Les scientifiques étudient le comportement de la végétation lorsque celle-ci est placée dans un milieu où la teneur en CO₂ dans l'atmosphère ainsi que la température sont en constante augmentation.

Les experts recourent à des images satellites pour obtenir des informations relatives au modèle C-Fix capable d'analyser l'absorption de CO₂ par la végétation dans de grandes régions géographiques telle que la Belgique.

Grâce aux résultats obtenus par l'étude susmentionnée, les dirigeants se rendront mieux compte du rôle que la végétation pourrait jouer dans la problématique de l'émission de CO₂ dans une politique basée sur la gestion de l'effet de serre.

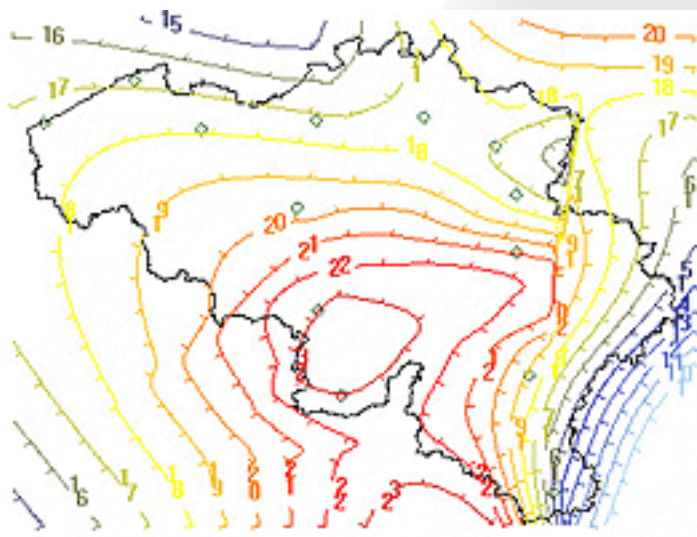
Infos

Région observée

Toute la Belgique

Données utilisées

La température moyenne journalière de l'air et la radiation (solaire), deux données indispensables pour le modèle C-Fix adapté à la Belgique, sont calculées au moyen de données météorologiques relevées par l'IRM. Ces calculs s'effectuent dans différentes stations météorologiques du pays.



La carte vous indique la localisation de ces stations ainsi que les isothermes pour une journée bien déterminée.

Les données de télédétection proviennent du capteur AVHRR et de la plate-forme satellite NOAA-11.

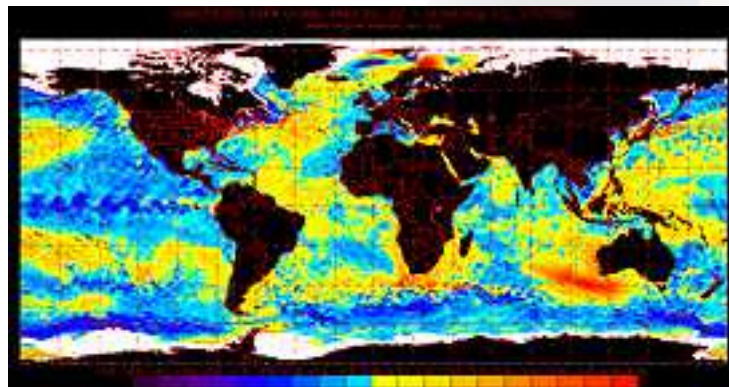
EL NIÑO FAIT LE TOUR DU MONDE

El Niño est un réchauffement anormal de l'eau de l'océan Pacifique, à la hauteur de l'équateur. El Niño signifie «l'enfant de Noël». Ce phénomène a été désigné de la sorte par les pêcheurs péruviens, parce que c'est à la période de Noël qu'ils voyaient tous les 3 à 7 ans tous les poissons disparaître de la côte du Pérou.

Ce réchauffement de l'eau de mer influence la pression atmosphérique dans certaines régions. C'est ainsi qu'il est apparu que des périodes de sécheresse se développaient au cours d'El Niño en Afrique du Sud-Est et au Brésil du Nord, tandis que la côte Ouest de l'Amérique du Sud se noie dans des pluies diluviennes et des inondations. El Niño est généralement suivi par La Niña, où l'eau de l'océan est plus froide que la normale, avec les conséquences inverses.

Les incendies de forêt répandus en Indonésie, les inondations en Chine etc. seraient dus à El Niño. Le climat en Afrique de l'Est semble également être influencé par El Niño/Southern Oscillation.

Nous analysons à l'aide des images obtenues par satellite si nous retrouvons des fluctuations anormales des pluies et de la croissance végétale à chaque fois qu'un des phénomènes ENSO se produit.



Les écarts de la température de surface de l'océan au 1er janvier 2000 par rapport à la température moyenne. Dans les zones en bleu, on a relevé des températures anormalement basses, dans les zones en rouge, des températures anormalement élevées. (NOAA)

Le lac Tanganyika et ses alentours sont des régions très sensibles à toute modification du climat. On a étudié les dernières fluctuations climatiques dans cette région à l'aide d'images obtenues par satellite et de mesures météorologiques, tandis que les phénomènes qui se sont produits au cours du dernier millénaire ont été analysés à l'aide des sédiments du fond du lac. Nous essayons principalement de comprendre quels effets un phénomène climatique comme El Niño/Southern Oscillation (ENSO) peut avoir sur le lac et ses alentours. ENSO est une perturbation de l'océan et de l'atmosphère qui se produit régulièrement (tous les 3 à 7 ans) dans l'océan Pacifique, mais dont l'influence s'exerce jusque dans les derniers recoins du monde, dont l'Afrique de l'Est.

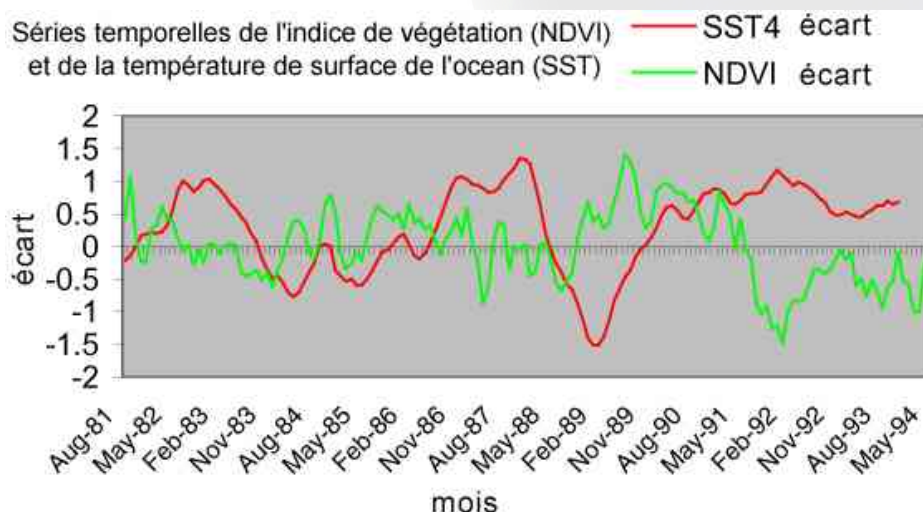
Méthode et Résultats

DES DONNÉES SUR 14 ANS

Le satellite NOAA photographie tous les jours l'ensemble de la surface terrestre. A l'aide de ces images, on calcule un index de végétation (NDVI) mensuel qui donne l'état de la végétation sur la surface terrestre. Ces images mensuelles sont disponibles depuis 1981. Pour cette étude, la période d'analyse porte sur les années 1981-1994. L'écart dans l'index de végétation par rapport à la valeur moyenne pour ce mois est calculé pour chaque unité (pixel) de chaque image et ces écarts (anomalies) sont ensuite comparés avec les anomalies que montre la température de surface de l'océan (Sea Surface Temperature ou SST) par rapport à la température moyenne de surface de l'océan dans l'océan Pacifique. Les deux anomalies sont replacées dans le temps, on vérifie ensuite si les deux séries temporelles fluctuent de la même manière (s'il y a de grandes différences de température remarque-t-on également de grandes différences dans la végétation ?) et on calcule ensuite la corrélation entre les deux séries.

IL NE FAIT DE L'EFFET QU'APRÈS 6 MOIS

Les séries temporelles ont montré que la végétation réagit souvent avec un certain retard au réchauffement de l'océan Pacifique. Il faut en moyenne 6 à 7 mois avant que les effets d'un tel réchauffement (ou refroidissement) ne se fassent remarquer dans les environs du lac Tanganyika. Le graphique montre les fluctuations de la température de l'océan (SST) et de la végétation (NDVI) dans le temps. L'écart (anomalie) de la température de surface de l'océan par rapport au SST mensuel moyen est indiqué en rouge pour chaque mois. Les valeurs positives indiquent une température plus élevée que la moyenne mensuelle, les valeurs négatives indiquent une température inférieure. L'écart dans l'index de végétation par rapport à l'index moyen est indiqué en vert. Lorsque les valeurs sont positives, l'index de végétation est supérieur à l'index de végétation mensuel moyen, lorsqu'elles sont négatives, l'index de végétation est inférieur à la moyenne mensuelle.

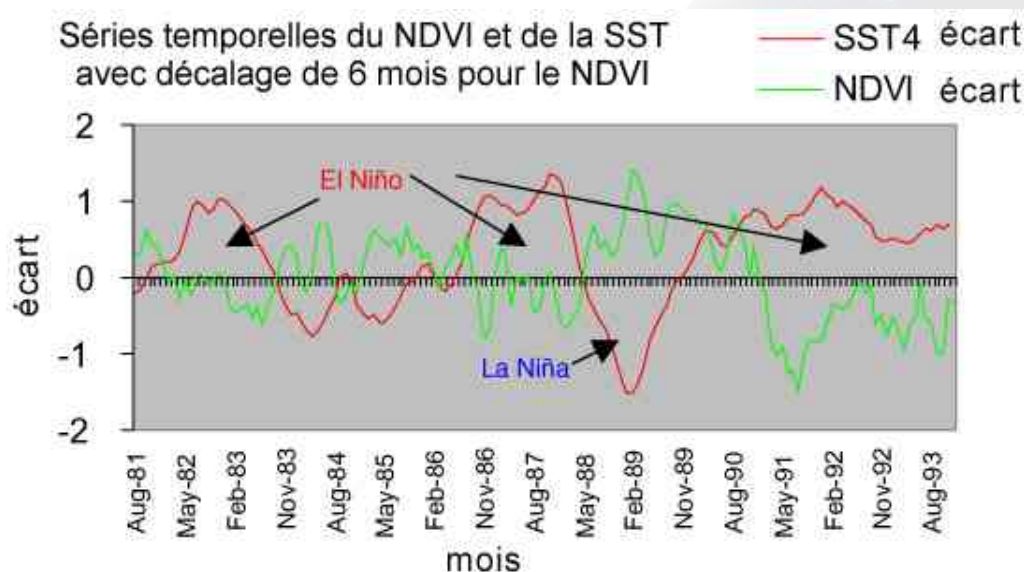


Écarts de la température de surface de l'océan (SST) et de l'index de végétation par rapport aux valeurs moyennes.

Méthode et Résultats

Si l'on déplace de 6 mois la série temporelle (courbe verte) d'anomalie dans l'index de végétation, on voit que les écarts de végétation tombent en même temps que les écarts de température de surface de l'océan, mais sont inversés.

Autrement dit, lorsque la température de surface de l'océan augmente (El Niño), on constate 6 mois plus tard une diminution de la végétation, lorsque la température de surface de l'océan diminue (La Niña), on constate 6 mois plus tard une végétation plus abondante.

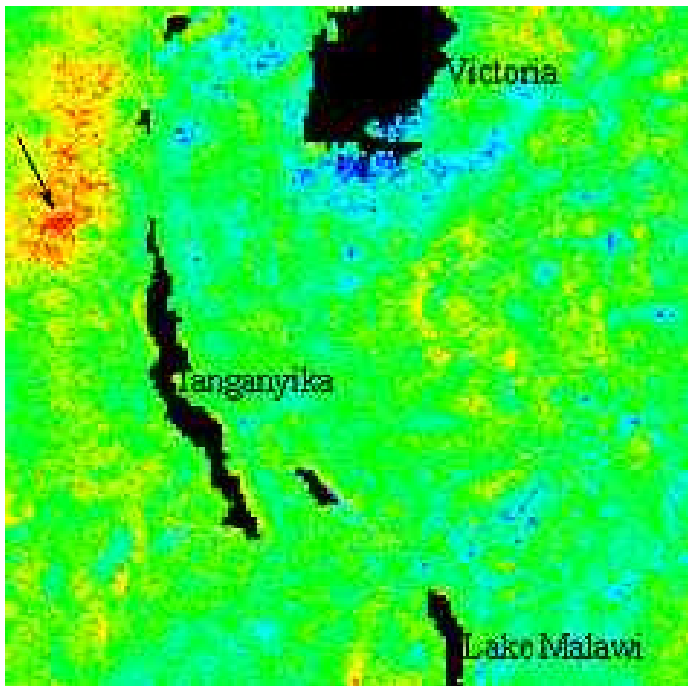


Écarts de la température de surface de l'océan (SST) et de l'index de végétation par rapport aux valeurs moyennes. La courbe des écarts dans l'index de végétation est déplacée de 6 mois

Méthode et Résultats

Après 6 à 7 mois, El Niño est à l'origine (anomalie SST positive, température de surface de l'océan élevée) d'une sécheresse dans la région de Kivu avec une croissance végétale réduite (anomalie NDVI négative).

La zone avec une forte corrélation entre les deux anomalies est indiquée en rouge sur la carte.



El Niño (anomalie SST positive, température de surface de l'océan élevée). El Niño cause après 6 à 7 mois une sécheresse dans la région Kivu avec une croissance végétale réduite (anomalie NDVI négative). Cette zone est indiquée en rouge sur la carte

EL NIÑO, PHÉNOMÈNE PRÉDICTIONNABLE ?

El Niño n'est pas une apparition à la mode, mais un phénomène qui depuis des siècles revient très régulièrement. Ce schéma semble toutefois être perturbé depuis le début des années 70, ce qui laisse présumer que les gaz à effet de serre tant cités sont à l'origine de ces "dérangements".

En révélant les relations entre ENSO, le climat et les différences de croissance végétale en Afrique de l'Est, on pourra non seulement mieux prédire l'arrivée du prochain El Niño, mais également mieux cerner les régions qui seront concernées et de quelle manière elles seront atteintes.

Ceci pourrait aider à la prédiction des récoltes dans le secteur agricole et permettre d'assurer une aide adéquate lors des catastrophes.

Team

Coordinateur

Eric Lambin
Université Catholique de Louvain (UCL)
Laboratory of Remote Sensing and Land-Use Changes
Place Louis Pasteur 3
Bâtiment Mercator
B-1348 Louvain-la-Neuve

www: <http://www.climate.be>
Tel : +32 - (0)10 / 47.44.77
e-mail : eric.lambin@uclouvain.be

Partenaires

Suzanne Serneels (UCL)

Quatre institutions participent à cette recherche :

Le Musée de l'Afrique centrale étudie les relations entre les phénomènes ENSO récents, les données sur la pêche et les données climatiques qui ont été mesurées au cours de ce siècle dernier par diverses stations de mesure dans la région. Lorsque El Niño débute dans l'océan Pacifique, la température est anormalement élevée dans les environs du lac Tanganyika quelques 4 mois plus tard. Cette augmentation de température influence le lac et la pêche.

L'Unité de Paléontologie et de Paléographie (UCL) étudie les couches de sédiment qui se déposent chaque année sur le fond du lac. On analyse si les couches déposées pendant la période ENSO diffèrent des couches déposées pendant les années «normales». Cette recherche permet de retourner loin dans le temps et de comprendre comment et pourquoi des perturbations du climat se sont produites.

Le Laboratoire de botanique (RUG) étudie les algues du lac, actuelles et du passé. On vérifie de quelle manière la composition des algues diffère de saison en saison et par rapport au passé.

Le Département de Géographie (UCL) étudie la période la plus récente de l'histoire (15 dernières années).

Infos

Résumé

Depuis des siècles, les pêcheurs péruviens regardent les bancs de poissons diminuer brusquement et fortement tous les 3 à 7 ans. Ils ont nommé ce phénomène « El Niño » (l'Enfant Jésus), parce qu'il se produit chaque fois vers Noël. El Niño est un réchauffement anormal de l'eau de l'océan et fait en fait partie d'un phénomène à plus vaste échelle ENSO (El Niño/Southern Oscillation). Après une phase chaude, El Niño, qui typiquement dure de 8 à 10 mois, ENSO comprend souvent une phase froide, La Niña. L'ensemble du phénomène ENSO s'étale généralement sur 3 à 7 ans.

El Niño évolue...

Au cours de ces dernières décennies, le schéma régulier ENSO s'est toutefois rompu. Même si, pour l'instant, on ne sait pas encore exactement ce qui cause ENSO, on suppose que la rupture de sa régularité est due, entre autres, aux gaz à effet de serre. Par contre, on sait avec certitude que ce phénomène n'influence pas seulement l'eau de l'océan près de la côte péruvienne, mais également des régions fortement éloignées. L'Afrique de l'Est semble ne pas pouvoir échapper aux suites d'ENSO : chaque période d'El Niño a été suivie par une période de sécheresse dans la région de Kivu et a entraîné une altération de la croissance végétale.

Et le satellite le suit de près !

Les images obtenues par satellite sont particulièrement adaptées au suivi des processus de changement. On les utilise ici pour déterminer les fluctuations dans la température de surface des océans et pour étudier les différences anormales dans la couverture végétale.

Région observée



Données utilisées

NOAA-AVHRR

Liens

Sur le site Earth Observatory de la NASA (anglais): <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/ElNino/>

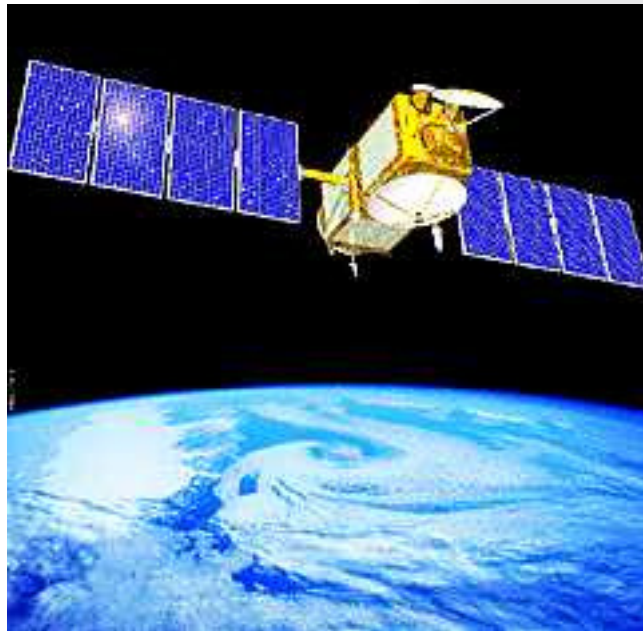
Sur le site de l'ESA (français): http://www.esa.int/fre/ESA_in_your_country/France/L_avenir_d_El_Nino_passe_par_Toulouse

L'OZONE

UN PEU DE CHIMIE

L'ozone (O_3) est une molécule composée de trois atomes d'oxygène. Cette molécule apparaît lorsque le rayonnement ultraviolet (la lumière du soleil) entre dans la stratosphère, percute des molécules d'oxygène (O_2) et divise celles-ci en atomes d'oxygène individuels (O). L'atome d'oxygène isolé se combine aussitôt aux molécules de O_2 voisines pour former l'ozone.

Bien que des traces d'ozone soient présentes dans toute l'atmosphère, elles ne sont pas réparties de manière égale. A peu près 90 pour cent de la totalité de l'ozone sont contenus dans la région de l'atmosphère appelée stratosphère et située à une distance de 15 à 50 km au-dessus de la surface de la terre. C'est dans la région située sous la stratosphère, qui porte le nom de troposphère, qu'ont lieu nos phénomènes climatiques. La région de la stratosphère où les concentrations en ozone sont plus élevées est généralement appelée couche d'ozone (elle est située à approximativement 24 km au-dessus de la surface de la terre).



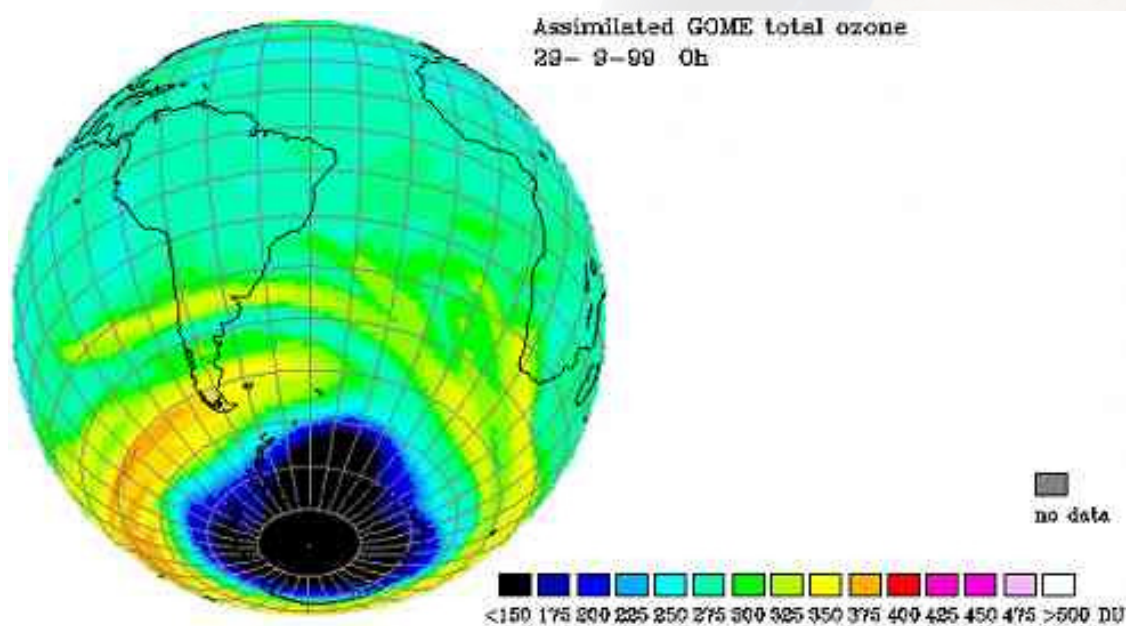
Bien qu'il existe des variations en fonction des saisons, c'est dans les tropiques que la couche d'ozone est la plus fine et dans les régions polaires qu'elle est la plus dense.

L'ozone joue un rôle essentiel dans la chimie troposphérique et stratosphérique : il constitue un gaz de "serre" important et la couche d'ozone fait office de filtre naturel puisqu'elle absorbe en grande partie le rayonnement ultraviolet (UV) biologiquement néfaste. La diminution de la couche d'ozone engendrerait une augmentation du rayonnement ultraviolet à la surface de la terre où il pourrait perturber des processus biologiques et endommager un certain nombre de matériaux.

L'OZONE

Dans les années '70, les scientifiques ont constaté que les chlorofluorocarbones (CFC), les composés halo-gènes du même type, ainsi que les composés contenant du brome et des oxydes d'azote (NO_x) pouvaient tous affecter la couche d'ozone.

Les CFC sont des produits industriels couramment utilisés dans les systèmes de réfrigération, les conditionneurs d'air, les aérosols, les solvants ainsi que dans la production de certains types d'emballages. Les oxydes d'azote, quant à eux, sont des produits dérivés provenant de processus de combustion tels que, par exemple, les gaz émis par les avions.



L'OZONE

Le trou dans la couche d'ozone

La découverte d'un trou dans la couche d'ozone, phénomène qui se produit chaque année au-dessus de l'Antarctique, a attiré l'attention du monde entier sur les éventuelles conséquences des activités de l'homme sur la vie et la santé des humains et a déclenché une vague de réactions sans précédent au niveau mondial. En adoptant la Convention de Vienne sur la protection de la couche d'ozone en 1985, les gouvernements se sont engagés à protéger la couche d'ozone et à collaborer dans le domaine de la recherche scientifique afin de mieux comprendre les processus atmosphériques.

Depuis plusieurs dizaines d'années, l'épaisseur de la couche d'ozone est mesurée dans plusieurs stations à l'aide d'instruments basés au sol tels que des spectrophotomètres et par le biais de mesurages aériens in situ effectués à l'aide de sondes ballons. Bien que ces mesures constituent une base de données à long terme de l'historique de l'ozone, la couverture géographique reste très incomplète puisque de grandes régions d'Afrique ainsi que les océans n'ont pas été pris en compte.

Si les satellites sont utilisés pour mesurer l'ozone depuis le début des années 1960, il a fallu attendre jusqu'il y a quinze ans pour que les techniques de couverture et de résolution soient suffisamment performantes pour permettre une application utile de ce type de mesure dans l'étude de la couche d'ozone. L'un des principaux avantages des mesures par satellite réside dans le fait qu'ils permettent de récolter des données dans des régions isolées.

Les données sur l'ozone fournies par satellite sont principalement utilisées dans le contrôle des répartitions totales et verticales de l'ozone. Tandis que la répartition verticale de l'ozone dans l'atmosphère est de première importance dans l'étude du climat et des changements climatiques, les renseignements concernant la quantité totale d'ozone peuvent nous aider à établir des prévisions météorologiques.

Données et Méthode

Quantité totale d'ozone

L'"épaisseur" de la couche d'ozone est la quantité totale d'ozone présente dans l'atmosphère au-dessus d'un point donné. Elle est mesurée en unités Dobson (DU, 1 DU correspondant à 2686100 molécules d'ozone par m^2). On observe généralement ~260 DU près des tropiques et davantage ailleurs.

Profils de l'ozone

Répartition verticale de l'ozone dans l'atmosphère.

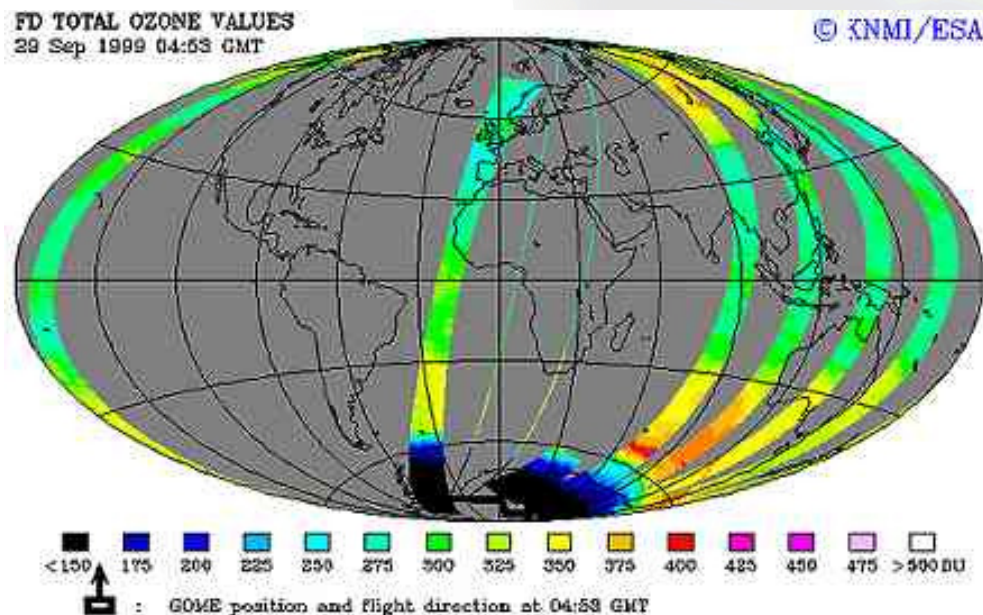
Techniques de mesurage

Les satellites sont placés en orbite à une altitude de plus ou moins 700 km. A cette hauteur, ils peuvent mesurer les concentrations d'ozone de plusieurs manières différentes. Les deux méthodes les plus fréquemment utilisées sont l'observation du nadir et la technique d'occultation.

Résultats

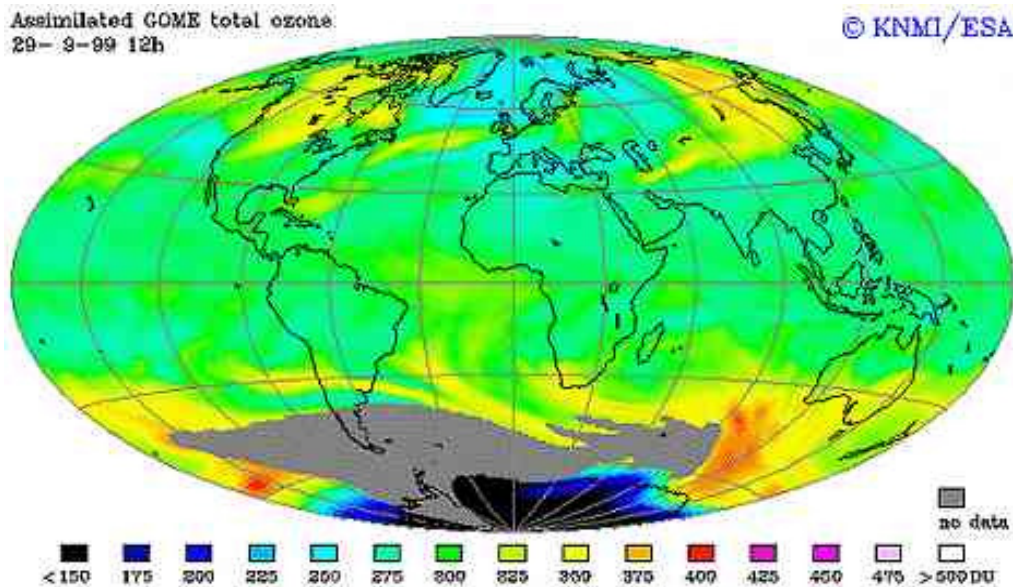
Répartition mondiale de l'ozone

Si l'on regarde une carte des données brutes et instantanées sur l'ozone (voir ci-dessous), l'on observe des bandes affichant des valeurs ainsi que de vastes zones pour lesquelles aucune donnée n'est disponible (coloriées en gris). Les «bandes» correspondent à des régions situées sous la trajectoire du satellite.



Données et Méthode

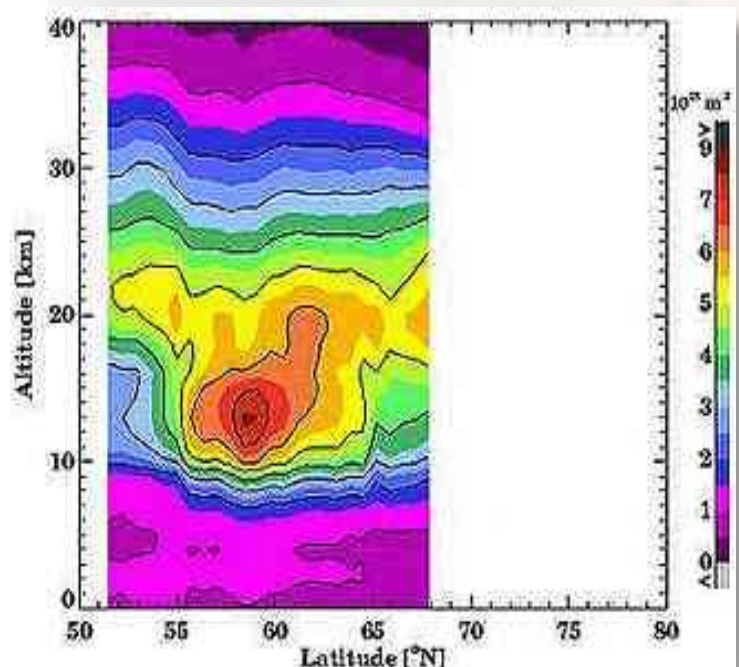
Les données instantanées peuvent être combinées pour établir des cartes mondiales de la couche d'ozone à un moment donné. Sur l'image, les valeurs d'ozone élevées sont coloriées en jaune et rouge tandis que les valeurs basses sont en vert et bleu.



Répartition verticale de l'ozone

La répartition verticale de l'ozone dans l'atmosphère fournit des renseignements très utiles comme, par exemple, l'altitude à laquelle l'ozone est détruit et les possibilités d'échange entre les couches supérieures et inférieures de l'atmosphère. Les techniques de mesurage traditionnelles ne fournissent pas ce type de données.

Sur la carte illustrant la répartition verticale de l'ozone dans l'atmosphère le long d'une ligne orientée nord-sud entre 52 et 67 degrés de latitude nord, les fortes concentrations d'ozone sont coloriées en rouge et jaune tandis que les faibles concentrations sont en bleu et violet. La répartition verticale de l'ozone varie fortement d'un endroit à l'autre.

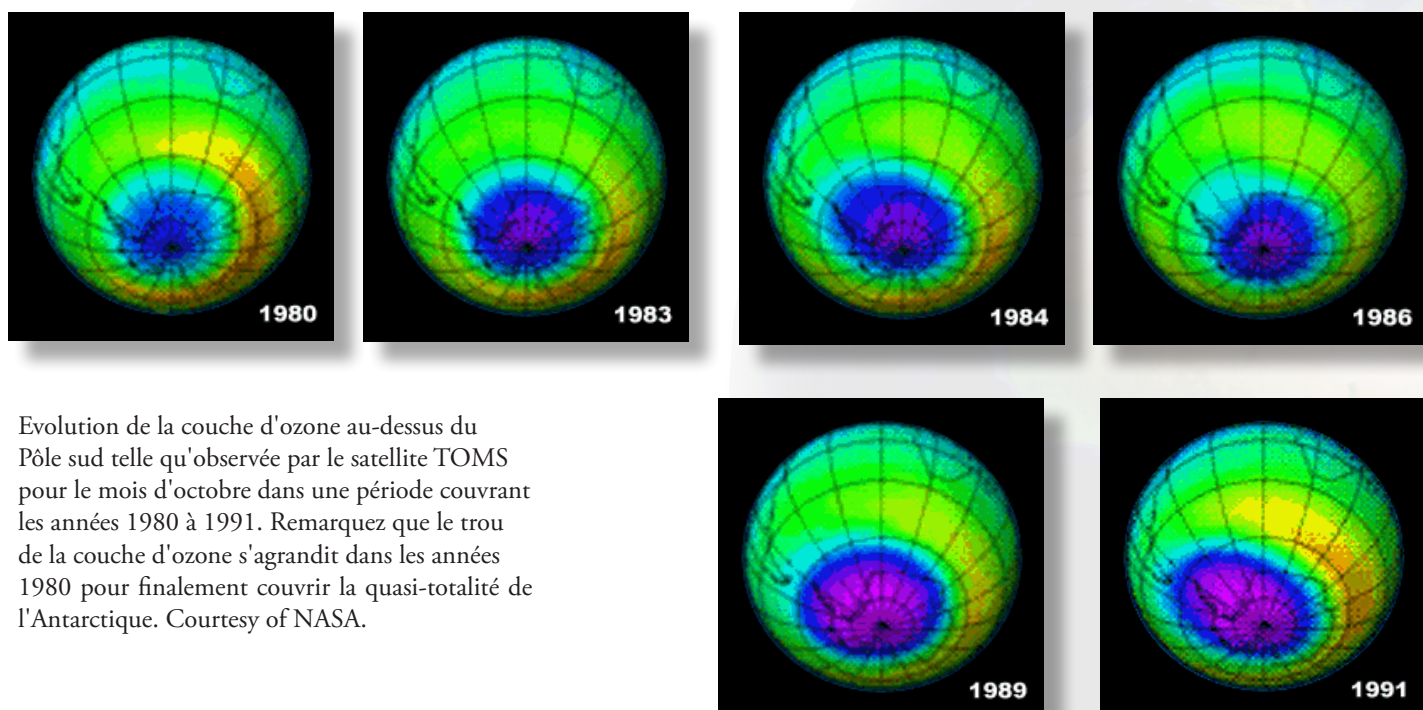


Données et Méthode

Le trou de la couche d'ozone dans l'Antarctique

C'est au cours des années 1970 que les sondes ont permis d'observer une énorme perte d'ozone dans la couche inférieure de la stratosphère au-dessus de l'Antarctique.

A cette époque, le trou de la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique apparaissait également dans les données fournies par le satellite TOMS. Toutefois, les valeurs peu élevées ne furent pas prises en compte et interprétées comme une mauvaise lecture des données! Des analyses ultérieures de ces données brutes confirmèrent les premiers résultats et démontrèrent que la perte d'ozone était un phénomène rapide et à grande échelle puisqu'il concernait la quasi-totalité du continent antarctique.

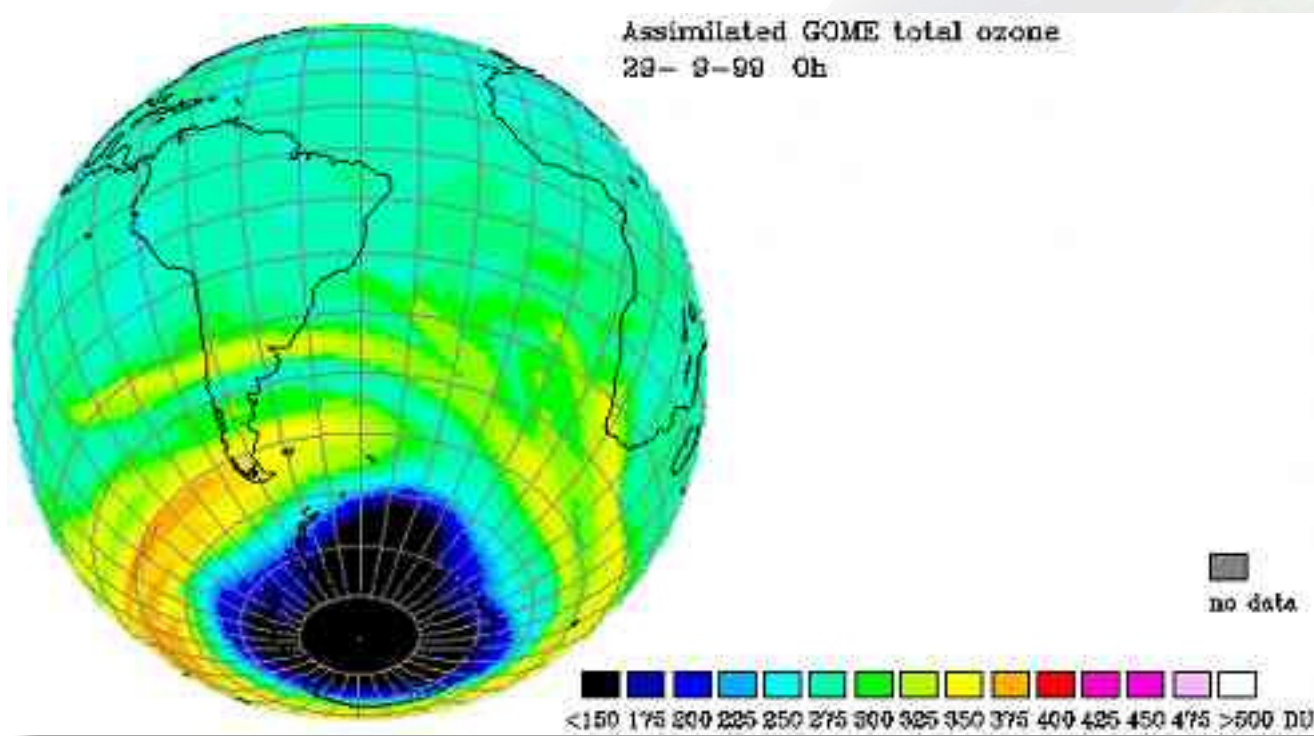


Bien que l'on ait également observé une détérioration dans des régions de moyenne latitude ainsi que dans l'Arctique, c'est dans la couche inférieure de la stratosphère (dont la hauteur varie entre 15 et 20 km) au-dessus du continent antarctique que la situation est la plus dramatique puisque la quasi-totalité de l'ozone y est détruite dans une couche de plusieurs km d'épaisseur de la stratosphère inférieure.

Données et Méthode

Les mesurages effectués par le satellite TOMS donnent une vue d'ensemble du trou de la couche d'ozone au fur et à mesure de sa formation et de son évolution au fil des saisons et fournit également une observation de son évolution à long terme, au fil des années.

Des données fournies plus récemment par le satellite GOME (ci-dessous) montrent le trou de la couche d'ozone tel qu'il apparaît au printemps antarctique de 1999.



Team

Coordinateur

Dirk De Muer
Institut Royal Météorologique (IRM)
Département d'Aérométrie
Section Chimie et Radioactivité
Avenue Circulaire, 3
B-1180 Bruxelles

www: <http://ozone.meteo.be/>
Tel : +32 (0)2 / 373.05.70 e-
mail : dirk.demuer@oma.be

Partenaires

René Lemoine (IRM)



Infos

Résumé

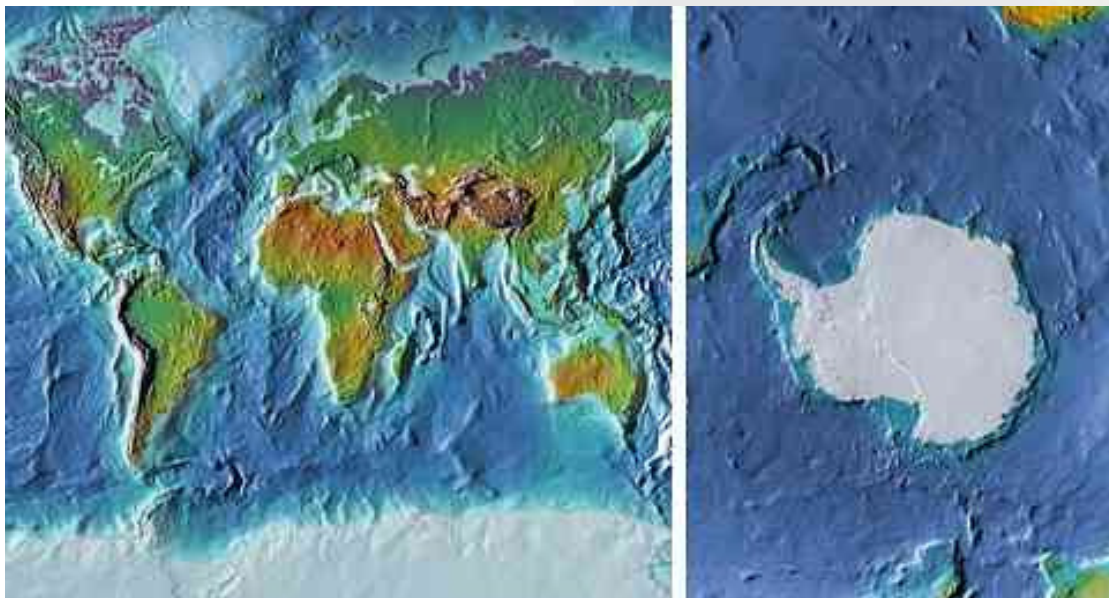
L'ozone de l'atmosphère est concentrée dans ce que l'on appelle la couche d'ozone. La couche d'ozone de l'atmosphère joue un rôle essentiel: non seulement elle protège la vie sur terre contre les rayons UV pouvant avoir des effets néfastes mais elle contribue également à déterminer le climat de la Terre. Malheureusement, il a été observé que certains gaz produits par l'activité humaine tels que les chlorofluorocarbones (CFC) endommagent la couche d'ozone.

La découverte d'un trou dans la couche d'ozone, phénomène qui s'amplifie chaque année au-dessus de l'Antarctique, a attiré l'attention du monde entier sur l'importance de la couche d'ozone et a incité la communauté mondiale à réagir.

Les gouvernements se sont engagés à protéger la couche d'ozone et à étudier en profondeur les processus atmosphériques.

Seuls les satellites permettent de mesurer l'ozone à l'échelle mondiale, d'où leur importance vitale dans l'étude de ce problème. Les données sur l'ozone fournies par les satellites sont principalement utilisées pour contrôler la répartition totale et verticale de l'ozone et elles constituent un outil précieux pour aider les décideurs à prendre les mesures adéquates afin de protéger la couche d'ozone.

Région observée



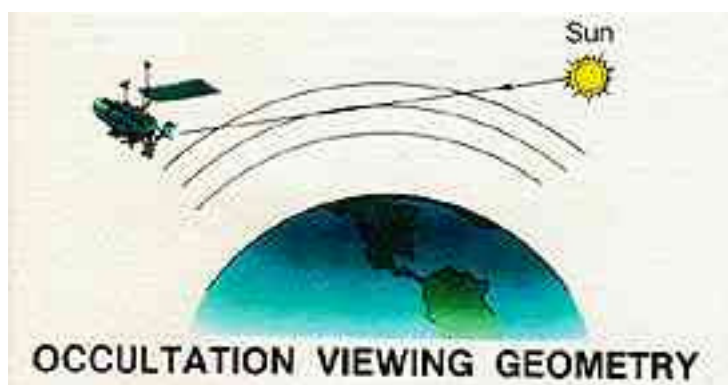
Infos

Données utilisées

ERBS: SAGE II
Nimbus-7, NOAA-9, -11, -12: SBUV
Nimbus-7, Meteor-3(5), TOMS-EP-94, ADEOS-I:
TOMS
ERS2 GOME

Les instruments d'observation du nadir effectuent leurs mesurages en se positionnant presque à la verticale en dessous du satellite en direction de la surface de la terre ; au fur et à mesure que le satellite se déplace sur son orbite, l'instrument explore de larges bandes à la surface de la Terre. Ces instruments mesurent la lumière du soleil (ultraviolette ou infra-rouge) qui est réfléchi par l'atmosphère et la sur-face de la Terre.

Lorsque la lumière en provenance du soleil entre dans l'atmosphère, elle est en partie absorbée et en partie réfléchi vers l'espace. La partie réfléchi est analysée par l'instrument placé sur le sa-tellite et, grâce au calcul d'algorithmes spéciaux, l'on peut en déduire la teneur en ozone de l'atmosphère ainsi que la répartition verticale de l'ozone dans la stratosphère (profil de l'ozone).



Dans la technique d'occultation, le satellite est positionné de manière à ce que la terre masque progressivement la lumière provenant du soleil ou d'une étoile au fur et à mesure que le satellite se déplace sur son orbite . Lorsque l'instrument voit le soleil ou l'étoile à travers l'atmosphère de la terre, il peut mesurer la quantité de lumière absorbée par l'atmosphère à différentes altitudes. Grâce à cette méthode, il est possible de dresser des profils de l'ozone à plus haute résolution à la fois dans la stratosphère et dans la troposphère. Toutefois, la couverture spatiale et temporelle est moins grande.

Infos

Le SAGE II est un photomètre solaire à sept canaux.

Il fournit des profils verticaux à 1 km pour les aérosols, l'ozone, le dioxyde d'azote et les vapeurs d'eau. Les mesurages concernent principalement les couches inférieure et moyenne de la stratosphère. Toutefois, lorsque les conditions sont favorables (non-volcaniques et sans nuages), les profils obtenus pour les aérosols, les vapeurs d'eau et l'ozone montrent également la troposphère.

L'instrument désigné sous le nom de SBUV mesure directement le rayonnement ultraviolet diffusé par l'atmosphère de la terre.

Le SBUV est un instrument d'observation du nadir dont le champ de vision s'étend à 200 kilomètres carrés. Une mesure est prise toutes les 32 secondes tout au long de la trajectoire orbitale, soit approximativement tous les 1,8 degrés en latitude, de 80 degrés nord à 80 degrés sud. Le vaisseau spatial Nimbus 7 était placé dans une trajectoire orbitale polaire sud à nord et héliosynchrone de sorte qu'il était toujours presque midi/minuit (heure locale) lors du passage du vaisseau. Les mesurages d'ozone étaient donc effectués toutes les 24 heures pour le monde entier.

L'instrument TOMS mesure la quantité totale d'ozone en observant à la fois l'énergie solaire entrante et le rayonnement ultraviolet (UV) dispersé (backscattered) à six longueurs d'ondes différentes.

TOMS est un instrument d'observation du nadir et procède à 35 mesurages toutes les 8 secondes, chacun couvrant une zone de 30 à 125 miles (50 à 200 kilomètres) de large au sol, suivant une ligne perpendiculaire au mouvement du satellite.

GOME est un spectromètre d'exploration du nadir pour les ondes du visible et de l'ultraviolet (longueurs d'onde entre 240 et 790 nm) et dont la résolution spectrale est de 0.2 - 0.4 nm.

Le satellite est placé sur une orbite polaire héliosynchrone et l'instrument explore la trajectoire d'un bout à l'autre avec un champ de vision de 960 km divisé en trois pixels de 80x240 km.

Liens

Sur le site Earth Observatory de la NASA (anglais): <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Ozone/>

Sur le site de l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (français): <http://www.aeronomie.be/fr/themes/systemeterre/chimie-atmo.htm>

LE RADAR ET LA FORET TROPICALE

La forêt tropicale est d'une importance vitale pour la stabilité écologique et le développement économique de la plupart des régions tropicales. Au cours de la dernière décennie, de grandes parties de la forêt tropicale ont toutefois été sérieusement érodées par la déforestation pour l'agriculture, l'élevage animal et l'exploitation du bois ainsi que par des incendies et des inondations.

Personne ne sait exactement comment se porte la forêt tropicale maintenant. Ces régions sont souvent d'un accès difficile et il n'existe que peu de cartes détaillées. La détermination des zones où la forêt a disparu ou est érodée est donc malaisée.



On essaye maintenant de cartographier année par année l'état de la forêt à l'aide d'images obtenues par satellite. La plupart des satellites, appelés satellites optiques, transforment en image la lumière solaire réfléchi, comme un appareil photo ou nos yeux.

Le problème est qu'ils ne sont pas capables de regarder à travers les nuages et que les régions tropicales se trouvent la plupart du temps sous une épaisse couche de nuages.

LE RADAR ET LA FORET TROPICALE

C'est pourquoi une nouvelle caméra a été développée, appelée radar ou SAR, qui envoie elle-même des micro-ondes et réceptionne le signal réfléchi. Les micro-ondes ou ondes radio, elles, percent les nuages. Le projet EcoSar a pour objectif de développer des techniques permettant de suivre l'évolution de la forêt tropicale grâce à ces images radar.



Image optique Landsat : remarquez les nuages
(en bas à droite)

© U.S. Geological Survey, Eros data Center



Image radar JERS : pas de nuages à l'horizon
© NASDA

Le problème de la forêt tropicale est reconnu de manière générale et les scientifiques dans le monde entier sont à la recherche de moyens adéquats pour arriver à une solution.

Le Centre de Recherche de la Commission européenne (Joint Research Centre, JRC) se penche sur un large projet TREES qui est de cartographier l'ensemble des forêts de la ceinture tropicale. Ces cartes sont obtenues à l'aide d'images provenant des satellites météorologiques et ne donnent pas encore beaucoup de détails. En collaboration avec le JRC, nous essayons par le projet EcoSar d'y ajouter des images radar afin d'obtenir une image plus nette et donc de meilleures cartes. L'agence spatiale américaine NASA, la japonaise NASDA et la canadienne RADARSAT ont collaboré au contrôle des images des différents satellites radar afin d'étudier lesquelles sont les mieux adaptées aux recherches sur la végétation tropicale.

Méthode et Resultats

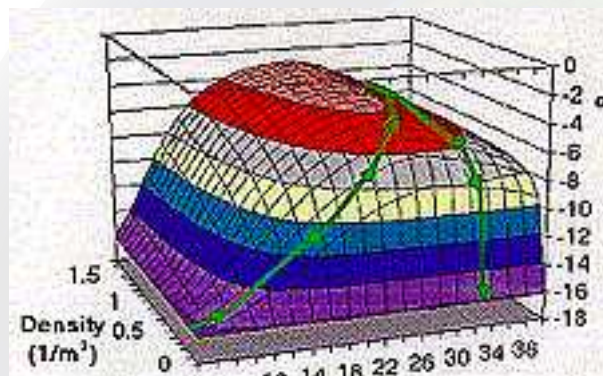
LES ARBRES CACHENT-ILS LA FORÊT ?

L'objectif réel du projet EcoSar est de développer en finalité une méthode grâce à laquelle on peut rapidement déduire, à partir d'images radar obtenues par satellite, des cartes fiables indiquant l'état de la forêt, pour n'importe quelle zone des régions tropicales

Afin d'y arriver, il faut développer des programmes informatiques qui transforment les images de manière à rendre les forêts reconnaissables. Nous désirons également obtenir le plus d'informations possibles sur la forêt : quelles sont les sortes d'arbres qui existent encore, la couronne est-elle bien développée, résiste-t-elle bien aux périodes de sécheresse, etc.

Pour pouvoir déduire toutes ces informations des images radar, nous devons bien comprendre comment le signal radar réagit aux différents états des arbres et de la forêt. Pour ce faire, un programme mathématique a été élaboré (entièrement sur base des théories botaniques) qui calcule la manière dont une micro-onde est réfléchi par les feuilles, les troncs, les arbres, les forêts...

Ces deux groupes de programmes forment ensemble un "package" logiciel qui permet d'obtenir des cartes de la forêt à partir des images radar brutes obtenues par satellite.



Un exemple de simulation de la sensibilité du signal radar en ce qui concerne la taille et la densité de feuilles dans une forêt

Comment ?

Les images radar sont comme des photos en noir et blanc : les teintes sont claires là où l'intensité de réflexion est élevée et foncées là où elle est faible. Le plus souvent, une image en noir et blanc ne contient pas assez d'informations pour permettre de distinguer les différentes sortes de végétation.

Nous pouvons toutefois en déduire d'autres caractéristiques, nous permettant de combiner des informations supplémentaires tout en ayant un très bon aperçu de la forêt et de son état.



Une image multitemporelle ou une combinaison d'images radar des différentes saisons © ESA - Distributed by Eurimage

Méthode et Resultats

Regardons une fois encore...

Le satellite prend chaque mois une image du même endroit. Si nous combinons ces images et si nous donnons à chaque photo une couleur différente, nous obtenons une image comme celle ci-contre.

Les différentes couleurs de l'image ne rendent donc pas la couleur de la végétation telle que nous devrions la voir, mais bien la modification d'intensité dans les ondes radars réfléchies au cours des saisons. Les modifications diffèrent selon qu'il s'agit de forêt, de cultures agricoles ou de savane. Nous voilà donc déjà un grand pas plus loin.

...et regardons tout autour

Les sortes de végétation varient également l'une de l'autre au niveau de leur structure : quelle est la taille de la couronne des plantes et à quelle distance sont-elles l'une de l'autre ? Il y a là de grandes différences entre les herbes (savane), les arbustes (plantation de café) et les arbres (forêt). On peut également découvrir des différences dans la texture des images radar : l'image de certaines plantes est-elle principalement grossière ou lisse ?

La texture ne se modifie pas au cours des saisons (la structure de la végétation ne change pas), ceci nous apporte une fois de plus des informations supplémentaires.

Grâce à toutes ces informations, nous pouvons après traitement transformer les images radar en cartes de végétation.



Les satellites radar donnent des images très détaillées de la végétation au sol
© ESA - Distributed by Eurimage



Les images radar sont transformées en cartes de végétation

Méthode et Resultats

Conclusions

Retournons-nous... et regardons vers l'avenir

La recherche EcoSar porte sur une région de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest) qui a approximativement la taille de la Belgique. Nous exécutons pour cette région des exemples de cartes qui peuvent être déduites des images radar grâce aux techniques développées.

Ces exemples peuvent alors être utilisés par les gestionnaires forestiers sur place, mais sont principalement destinés à montrer que les techniques que nous avons développées offrent de bons résultats. Ces méthodes pourront alors plus tard être utilisées à plus grande échelle par les organisations internationales et les autorités de pays en voie de développement afin de protéger et de gérer la forêt résiduelle.

Nos recherches sont en fait au service d'un objectif nettement plus large et plus important que la pure acquisition de connaissances scientifiques. A long terme, nous désirons contribuer à la protection de la nature et de l'environnement.



Team

Coordinateur

Marc Leysen

Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO)

Teledetectie en Atmosferische Processen (TAP)

Boeretang 200

B-2400 Mol

Tel : +32 (0)14 / 33.55.11

Fax : +32 (0)14 / 33.55.99

e-mail : marc.leysen@vito.be

Partenaire

Université Catholique de Louvain (UCL), Télédétection et Télécommunication (TELE)

Centre de recherche de la Commission européenne (Joint Research Centre) à Ispra, Italie.

Les agences spatiales américaine NASA, japonaise NASDA et canadienne

Infos

Résumé

La forêt tropicale est un des écosystèmes les plus importants de la terre : non seulement elle recèle une richesse incroyable d'espèces végétales et animales (un seul arbre de la forêt tropicale le long de l'Amazonie peut offrir un abri à deux mille sortes d'animaux uniques), mais elle joue également un rôle important dans la fixation du dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre.

L'exploitation intensive du bois, les déforestations pour l'élevage animal, l'agriculture, l'urbanisation, mais également les incendies, les inondations, les pluies acides... sont autant de menaces pour la survie des forêts. Les conséquences pour la biodiversité sont considérables.

Au niveau mondial, beaucoup d'efforts sont entrepris pour prévenir un déboisement supplémentaire. Depuis la conférence de Rio pour l'environnement et le développement (1992), la lutte contre la déforestation représente un des points d'action de l'Agenda21.

L'Europe y participe également : les forêts tropicales sont cartographiées dans le cadre du projet TREES, afin de pouvoir mieux suivre leur évolution. Une surveillance étroite des modifications de la forêt tropicale peut en effet contribuer à améliorer leur protection.

Les images obtenues par satellite fournissent ici une contribution importante en permettant de cartographier et de surveiller ces régions d'un accès difficile. Etant donné que les tropiques sont souvent cachés sous une couche de nuages, ce sont principalement les images radar qui offrent des perspectives pour ce faire. Il s'agit ici de développer une méthodologie pour l'utilisation d'images radar lors de la cartographie de la forêt tropicale.

Région observée



Données utilisées

Landsat TM

JERS SAR

DEBOISEMENT

Lorsque l'homme transforme la Terre

Grâce à l'observation par la télédétection des modifications de la couverture du sol, on peut étudier l'influence de l'utilisation anthropique du sol sur sa couverture. Des modèles empiriques de diagnostic des modifications de l'utilisation/couverture du sol développés à partir de telles constatations peuvent alors représenter un instrument important pour une gestion durable des sols.

Démarrer à petite échelle

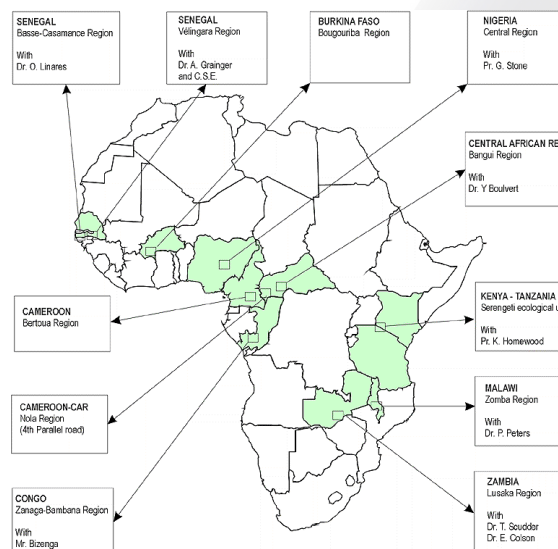
Une approche à grande échelle devant donner rapidement des résultats ne fournira que des résultats superficiels. Pour pouvoir réellement comprendre la complexité des modifications de l'utilisation du sol, il faut partir de données socio-économiques et de données concernant la couverture du sol à petite échelle. La collecte de telles données au niveau mondial serait irréalisable. Il faut donc s'attacher à définir des zones test pour la collecte de données de terrain et d'observations obtenues par télédétection. Les évolutions et les processus de transformation relevés pour ces régions sélectionnées peuvent alors, avec prudence, être transposés à des régions plus importantes.



DEBOISEMENT

Une collaboration efficace

Les régions sélectionnées doivent évidemment être réellement représentatives, et il faut également pouvoir disposer de connaissances suffisantes sur les processus sociaux et écologiques ayant entraîné des transformations dans l'utilisation du sol. C'est pourquoi la collaboration entre les spécialistes en télédétection et en écologie humaine effectuant des études de terrain à long terme fournit de si bons résultats. Les spécialistes en télédétection identifient les schémas de modification de l'utilisation du sol et établissent une relation entre les schémas de transformation observés et les caractéristiques naturelles et culturelles d'un paysage à l'aide des systèmes d'information géographique (SIG). Les spécialistes en écologie humaine ont une compréhension plus profonde des processus de transformation et de la complexité des faits déterminant une utilisation particulière du sol. A l'inverse des approches par télédétection et par SIG, les études de terrain fournissent toutefois rarement une vision d'ensemble de l'ampleur des processus de transformation de l'utilisation du sol.



Carte des régions étudiées

A quoi ça sert

La composante télédétection s'ajoute à la collecte des sites d'études africains où sont menées des études de terrain à long terme sur les transformations de l'utilisation du sol. Pour la plupart de ces sites, une collaboration avec des anthropologues éminents a été établie.

Une telle analyse de la dynamique des paysages génère des modèles statistiques spatiaux des modifications de l'utilisation du sol, qui peuvent servir à :

- Tester des hypothèses sur les processus de transformation et leurs motifs pour toute une région;
- Signaler les points nécessitant une recherche plus approfondie à l'aide du travail de terrain;
- Pointer les zones présentant un risque de conversion ou de transformation future de la couverture du sol;
- Evaluer les impacts éventuels de telles transformations.

Les deux derniers points sont particulièrement importants pour les spécialistes de la planification de l'utilisation du sol. Ceux-ci doivent non seulement estimer la vitesse et identifier les facteurs de transformation de la couverture du sol, mais également prédire les zones susceptibles de subir des transformations futures.

Méthode et Résultats

Etablir un modèle

Des modèles statistiques spatiaux de modification de l'utilisation du sol sont établis en combinant la télédétection, les systèmes d'information géographique et des modèles mathématiques à variables multiples. L'accent est porté sur la distribution spatiale des éléments du paysage et sur les modifications des schémas du paysage. La localisation des différentes catégories de transformation de la couverture du sol est comparée avec des cartes des variables naturelles et culturelles du paysage. Les cartes des transformations de la couverture du sol sont déduites de séries multi-temporelles obtenues par télédétection. Les transformations dans la couverture du sol sont classées en catégories et leur répartition spatiale corrélée avec les caractéristiques du paysage et de l'endroit. Un modèle est construit afin de décrire la relation entre les variables dépendantes - par exemple, la transformation de la couverture boisée - et les variables indépendantes du paysage. L'analyse statistique à variables multiples est utilisée pour déterminer les variables qui sont le plus souvent associées aux zones avec schémas de déboisement. Lorsque des séries de données de télédétection à grand intervalle de temps sont disponibles, on peut identifier des schémas complexes de transformation de la couverture du sol et les intégrer dans des modèles (par exemple des cycles comme «forêts - agriculture - croissance secondaire - forêts - agriculture - etc.» ou un déroulement moins favorable comme «forêts - agriculture de faible surface - élevage - dégradation des sols»).

Et que voyons-nous ?

Les illustrations suivantes montrent quelques exemples de l'interprétation des schémas de transformation de la couverture du sol réalisés via la télédétection:

en République d'Afrique Centrale

Réseau routier pour la coupe sélective dans la région de Nola, avec forêts denses et humides (SPOT XS de 1993).

Les forêts sont en rouge. Malgré le réseau routier dense pour les bûcherons, la résolution spatiale des données SPOT (20 mètres) ne permet pas de détecter une conversion importante de la forêt. L'analyse numérique de l'image montre toutefois des transformations de la couverture boisée le long des routes et, plus particulièrement, une moindre densité de la forêt, due à une coupe sélective (bleu/rouge et violet). Ailleurs dans la région, des migrants s'introduisent dans la forêt pour cultiver des plantes le long des routes forestières délaissées. Ce sera probablement le cas ici également dans quelques années.



Méthode et Résultats

en Zambie

Déplacement de population et dégradation du sol dans la région de Lusitu, le long d'une rivière du Zambèze (SPOT XS de 1986 et 1992).

La région est dominée par une savane boisée (brun/rouge). Quelques petites taches de forêts protégées sont visibles en rouge. La population Tonga de Gwembe (au départ environ 6.000 personnes) a été déplacée dans cette région fin des années '50. Auparavant, la population était relativement faible. Ce déplacement involontaire a fait suite au remplissage du réservoir du Barrage de Kariba. Depuis lors, la population s'est accrue régulièrement et l'agriculture s'est étendue jusqu'à ce que toute la terre disponible soit exploitée. Un aspect intéressant est le fait que, dès les années 50, cette implantation dépassait de loin la capacité de charge du sol - compte tenu du système agricole de cette population. Depuis lors le sol a continué à se dégrader jusqu'à l'obtention d'un sol nu (en blanc, jaune et gris) ayant le même aspect qu'au Sahel. La population commence maintenant à émigrer vers les régions voisines. En 1992, on peut apercevoir de nouveaux terrains avec irrigation tournante (trois cercles gris) sur la partie Sud-Est de l'image.



Méthode et Résultats

au Sénégal

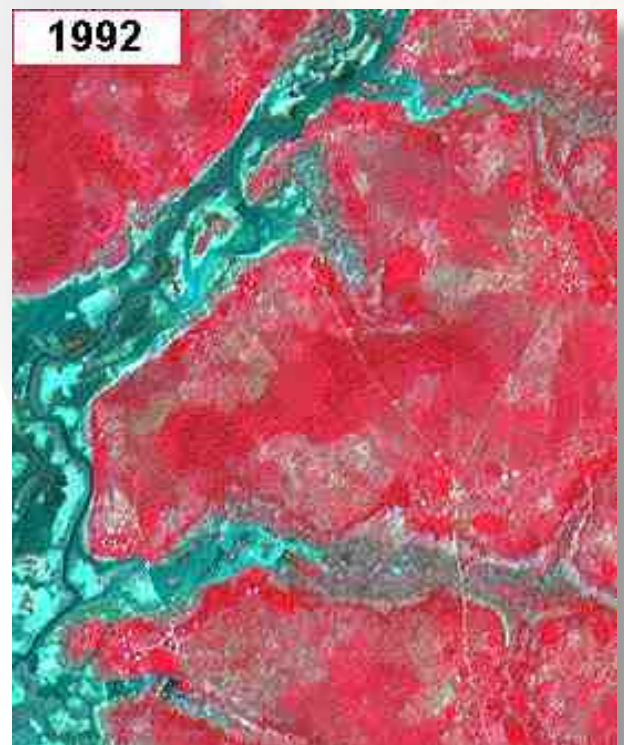
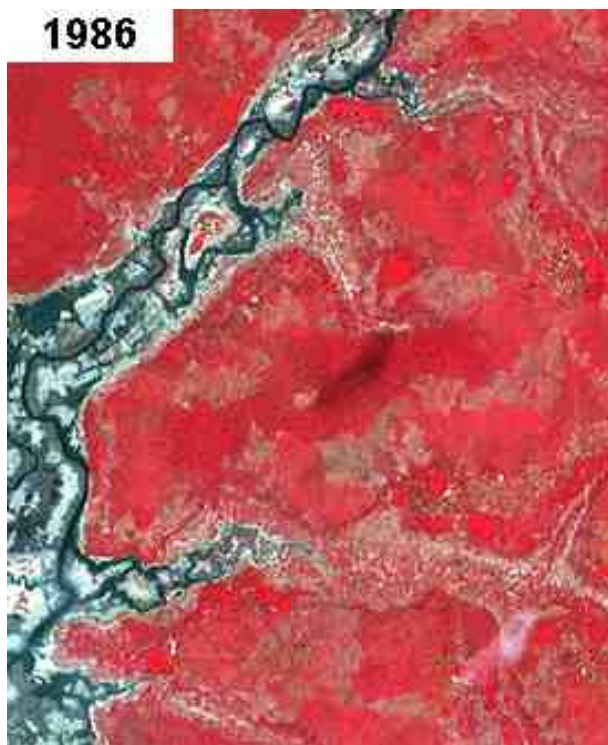
Modifications de la couverture du sol dans une région de rizières, la région de Basse-Casamance, Sénégal (SPOT XS de 1986 et 1994).

La première image a été prise peu après une longue sécheresse qui a ravagé la région.

La deuxième image a été prise au cours d'une année nettement plus humide.

L'image de 1986 montre différents marigots séchés (bleu foncé) et des tas de sel (blanc vif).

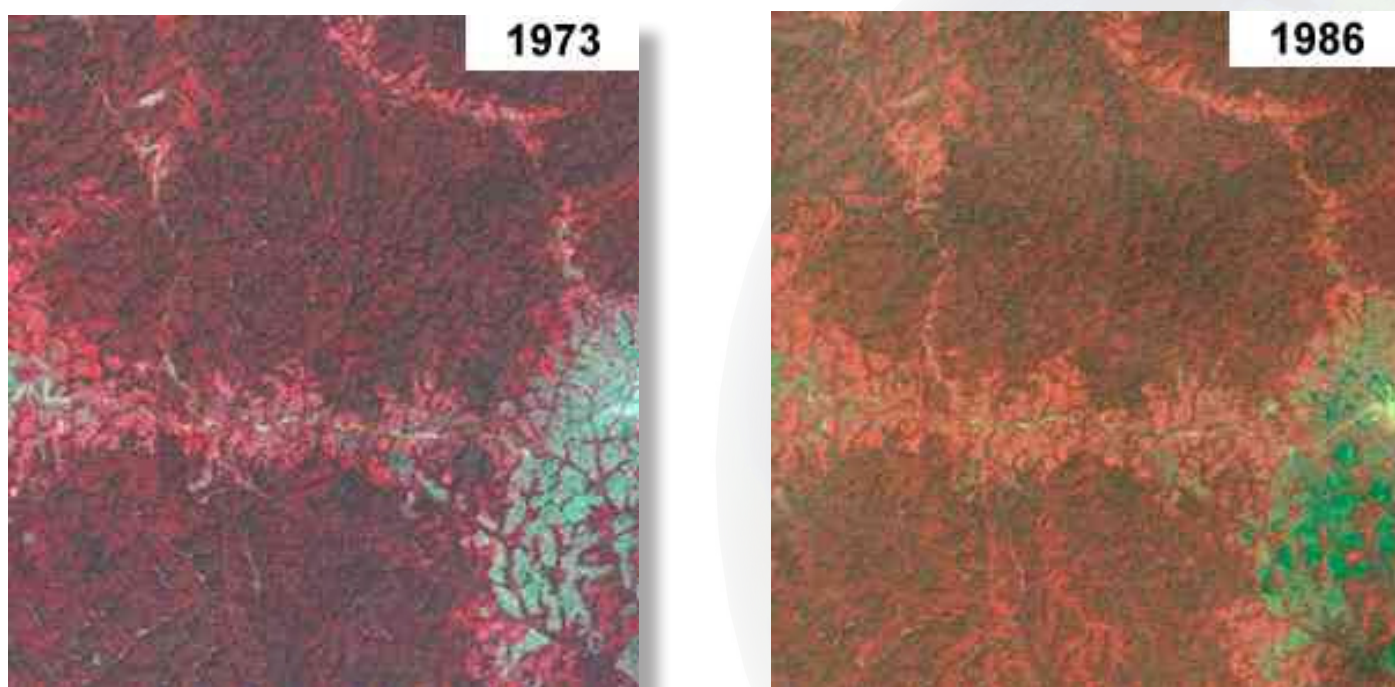
Huit ans après, le niveau de l'eau dans ces marigots a monté (bleu-gris et cyan). Un barrage a également été construit dans la branche sud-est du canal (partie sud de l'image, bleu clair). Ce barrage a réinsufflé une nouvelle vie à la production de riz tout le long de ce canal (voir taches avec plantes en gris/bleu sur l'image de 1994). De larges percées (brun) peuvent être observées au sein des forêts protégées (rouge clair), au centre et dans la partie Nord-Ouest de l'image. Au cours des années sèches, les paysans ont défriché la forêt pour y cultiver des plantes des plateaux secs (gris-brun), alors que pendant les années humides ils retournent vers les cultures humides de riz dans les marigots et les vallées. Autour des villages, certaines forêts sacrées sont bien maintenues (taches rouge clair entre vallées et plateaux).



Méthode et Résultats

Pour **Bertoua (Cameroun)**, la transformation la plus importante dans la couverture du sol est l'extension de l'agriculture qui entraîne la conversion de la couverture boisée.

Les transformations entre 1973 et 1986 ont été observées à l'aide de données de télédétection à haute résolution. On a observé une nette diminution de la couverture boisée entre 1973 et 1986 avec un taux annuel de déboisement de 0,53%. La matrice de transformation a montré que la plupart des éclaircies pratiquées dans les forêts le sont à des fins agricoles. On observe quelques zones précédemment identifiées comme zones agricoles et qui sont recolonisées par la forêt.



Cameroun: schémas de déboisement dans la région de Bertoua dus à l'extension de l'agriculture (Landsat MSS de 1973 et 1986). Sur la partie Est de l'image on peut voir la ville de Bertoua et la savane qui l'entoure (cyan / vert). La couleur brun/rouge correspond à un feuillage dense. Les régions cultivées (rouge clair) le long de tous les axes de transport et autour des petites villes s'étendent rapidement. La population de la province de l'Est du Cameroun a augmenté au cours de cette dernière décennie. Les routes rendent la forêt plus accessible et celle-ci est défrichée et cultivée par des migrants pour leurs propres besoins ou pour les marchés locaux. On peut également distinguer une zone de coupe sur la partie sud de l'image (rouge clair).

Méthode et Résultats

Des relations positives et négatives

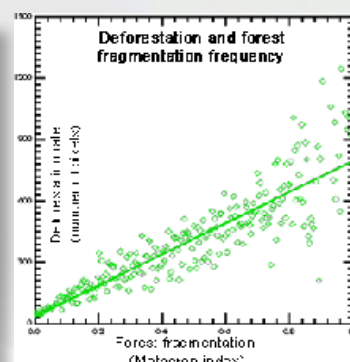
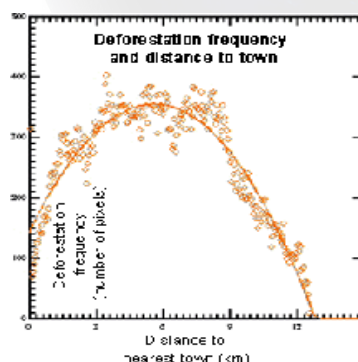
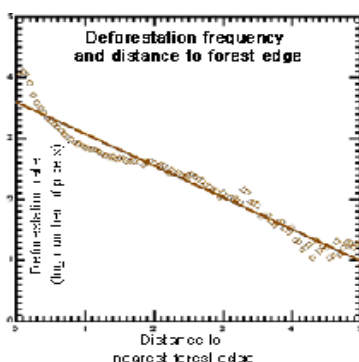
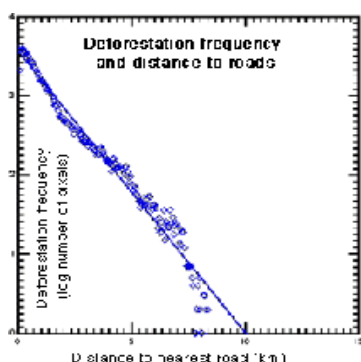
Différentes variables spatiales ont été intégrées dans un SIG et co-référencées avec la carte des transformations de la couverture boisée : l'aptitude des terres, la distance à la route la plus proche, la distance à la ville la plus proche, la distance à la zone boisée la plus proche, la fragmentation spatiale de la forêt et la densité de la couverture forestière. Des modèles à variables uniques ont été établis afin de relier une mesure de la fréquence de déboisement et les variables citées plus haut. Les observations suivantes ont été faites:

La relation avec la proximité de routes est une fonction logarithmique négative, la fréquence de déboisement diminuant très rapidement lorsqu'on s'éloigne des routes. 80 % des déboisements sont effectués à moins de 2 km des routes. Au-delà de 7,5 km des routes, il n'y a plus de déboisement.

La relation avec la proximité des villes est plus complexe : on n'observe pas de déboisement à proximité immédiate des villes, tout simplement parce qu'il n'y a pratiquement plus de forêts. La fréquence de déboisement augmente fortement à une distance des villes allant de 3 à 10 km (avec 70% des déboisements totaux dans cet intervalle de distances). Au-delà de 10 km, on assiste à nouveau à une diminution. Cette relation a été intégrée au modèle par une fonction quadratique.

La relation avec la proximité de la zone boisée est également une fonction logarithmique négative, avec une occurrence de déboisement nettement plus importante aux frontières forêts/non-forêts. 80% des déboisements ont lieu à moins de 1 km d'une zone boisée.

La relation avec la fragmentation des forêts est plus faible, mais linéaire pour une grande part. La plus forte fréquence de déboisement est observée pour des couvertures boisées qui sont déjà fortement fragmentées. Ceci confirme que les percées dans la forêt attirent une extension des éclaircies. Lorsque la fragmentation de la forêt est faible, la fréquence de déboisement est uniformément faible.



Méthode et Résultats

Pourquoi couper des arbres?

Un modèle à variables multiples a été développé afin d'expliquer les effets de l'interaction entre les différentes variables indépendantes. Celui-ci a montré que, alors que la distance à la route la plus proche explique en grande partie la variabilité spatiale du déboisement, la distance aux villes le long des routes a nettement moins de poids dans un modèle multivarié - si l'on tient compte des informations qui sont déjà fournies par les autres variables. On voit ainsi que les routes, de même que les percées et les lisières de forêt jouent un rôle important en augmentant l'accessibilité à la forêt, permettant ainsi aux migrants d'y pénétrer.

Par contre, il est moins évident d'établir un lien entre la proximité des routes et une augmentation du prix de location de la terre en raison de l'accessibilité plus grande aux marchés de la ville pour les paysans, étant donné que la distance aux villes n'explique pas la variabilité spatiale.

Ces résultats statistiques montrent donc que l'extension de l'agriculture qui a entraîné le déboisement dans cette région était le plus souvent corrélée à un processus de colonisation humaine plutôt qu'à une augmentation de la production agricole pour les besoins croissants des marchés dans les villes. Ceci doit être vérifié par des études approfondies sur le terrain.

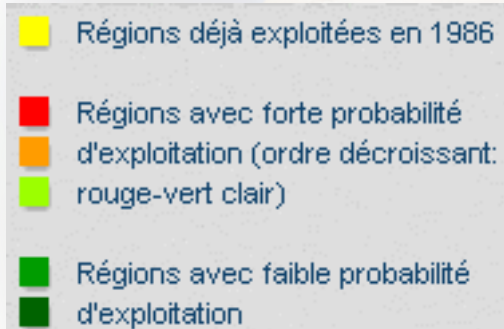
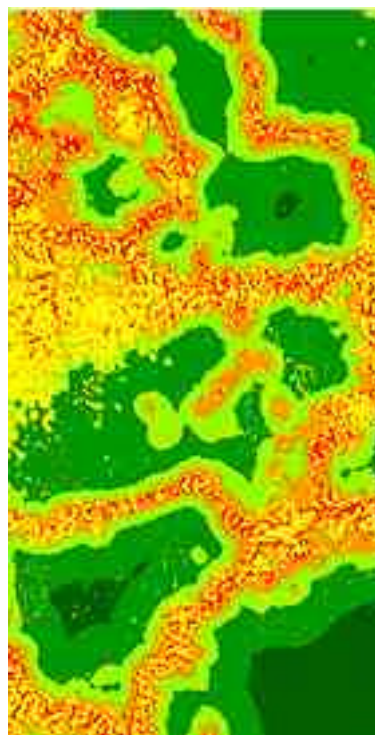
Sur base du modèle spatial, étalonné avec les données du passé, on a pu établir une projection des régions présentant les risques les plus élevés de déboisement. Ceci définit des régions qui doivent être considérées comme prioritaires par les planificateurs. Puisque le déboisement est influencé par des facteurs sociaux, économiques et écologiques, facteurs qui se modifient avec le temps, on ne peut pas s'attendre à ce que la rapidité de déboisement mesurée reste constante à l'avenir.

Méthode et Résultats

Conclusion

La collaboration entre les spécialistes en télédétection et en écologie humaine permet d'arriver à avoir une bonne perception des processus de transformation de l'utilisation du sol. Grâce aux données obtenues par la télédétection, les schémas de transformation de l'utilisation du sol peuvent être identifiés, tandis que les spécialistes en écologie humaine ont une meilleure compréhension de la complexité des motifs qui entraînent une utilisation déterminée du sol.

Par l'intégration des données de la télédétection dans des modèles statistiques spatiaux, on peut projeter des schémas de paysages futurs et les transcrire sur des cartes donnant l'évolution attendue si les pratiques actuelles de la gestion des sols (ou le manque de gestion) persistent. Une information prédictive de ce genre est essentielle pour l'implémentation d'une gestion appropriée en ce qui concerne (p.ex.) la dégradation des sols, gestion qui devrait empêcher la disparition de ressources essentielles.



Team

Coordinateur

Eric Lambin
Université Catholique de Louvain (UCL)
Laboratory of Remote Sensing and Land-Use Changes
Place Louis Pasteur 3
Bâtiment Mercator
B-1348 Louvain-la-Neuve

www: <http://www.climate.be>
Tel : +32 - (0)10 / 47.44.77
e-mail : Eric.Lambin@uclouvain.be

Partenaires

Benoit Mertens (UCL)



Infos

Résumé

Les modifications de l'utilisation du sol et de la couverture du sol représentent des points centraux dans l'étude des changements environnementaux à l'échelle mondiale. En relation étroite avec les changements climatiques, la perte de biodiversité et la durabilité des activités humaines, elles sont soit causes significatives, soit facteurs décisifs dans les changements globaux.

Les transformations dans l'utilisation du sol et la couverture du sol peuvent être analysées de trois points de vue complémentaires : (i) surveillance ; (ii) modélisation des processus et (iii) détermination des influences sur les fonctions écologiques. Les données obtenues par satellite se prêtent fort bien à l'étude des transformations de la couverture du sol. Les processus de transformation peuvent être identifiés à l'aide des séries temporelles. Des systèmes d'information géographique (SIG) permettent de mettre ces transformations en relation avec des phénomènes naturels ou culturels. Les données socio-économiques peuvent aider à mieux expliquer les causes des processus de transformation. Certains exemples de processus de transformation en Afrique sont illustrés dans ce projet. Le déboisement à Bertoua (Cameroun du Sud) est étudié plus en détails. Les différents facteurs qui influencent ce déboisement ont été analysés et les régions à risques ont été cartographiées. Grâce à une meilleure compréhension des processus de transformation et de leurs origines, les autorités pourront adapter leur politique, afin de mieux protéger les régions à risques contre toute dégradation supplémentaire.

Région observée

Les processus de transformation de la couverture du sol sont étudiés pour un certain nombre de sites africains. Par exemple, un modèle spatial de déboisement a été développé pour la surface de Bertoua dans l'Est du Cameroun, zone où dominent des forêts semi-caduques denses.



Données utilisées

SPOT XS
LANDSAT TM

DESERTIFICATION

D'après les Nations Unies, environ 70% des 5,2 milliards d'hectares des terres arides vouées à l'agriculture sont actuellement dégradées. La désertification touche pratiquement un quart de la superficie totale du globe. Ces terres arides comptent environ un milliard d'habitants. La situation de ces personnes est précaire. Elle est même franchement préoccupante pour plus de 100 millions d'entre elles. Ces personnes risquent de devoir quitter leurs terres pour chercher ailleurs leur subsistance. Les pertes économiques causées par la désertification, en termes de manque à gagner, ont été estimées en 1991 à plus de 42 milliards de \$US par an pour le monde entier, dont 9,3 milliards de \$US pour l'Afrique.



Les causes

Les études environnementales multi-temporelles par télédétection, menées dans le Sahel présentent des résultats concordants : une diminution importante des forêts et de la végétation en général contre une augmentation importante des sols dégradés qui se marque bien souvent par une remise en mouvement du sol par l'action éolienne.

Globalement, la plupart des scientifiques et des institutions s'accordent, dans les grandes lignes, sur les causes de la désertification : d'une part, l'action anthropique exacerbée et sans cesse croissante sur l'environnement incluant la croissance exponentielle de la population, le surpâturage, le déboisement, la surexploitation des terres et la détérioration des sols et, d'autre part, la crise climatique qui joue comme révélateur de la désertification.

Méthode et Résultats

La télédétection permet d'étudier l'évolution de la couverture végétale ainsi que l'évolution de l'environnement. La comparaison de données aéroportées et satellitaires sur une longue période (plus de trente années) permet une analyse diachronique du paysage.

Ainsi, la comparaison de photographies aériennes scannées et d'une image satellitaire SPOT met en évidence la dégradation environnementale dans une zone semi-aride du Sahel (département de Zinder au sud-est du Niger)

Éléments du paysage	1957-1958	1975	1987	Différence 1957-1987 (%)
Dépressions et végétation	36%	14%	8%	-78 %
Sables remaniés	6%	14%	23%	+283 %
Delta	0.2%	0.24%	0.56%	+180 %

Tableau: Evolution de quelques éléments du paysage du secteur de Makaoratchi (S-E Niger)

Cette région est caractérisée par une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 350 mm (période 1950-1990).

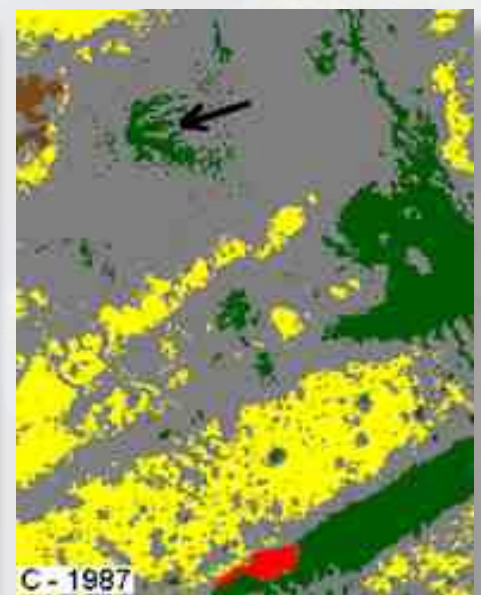
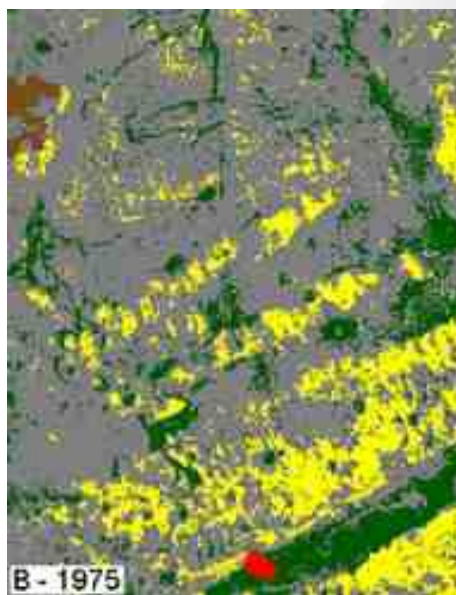
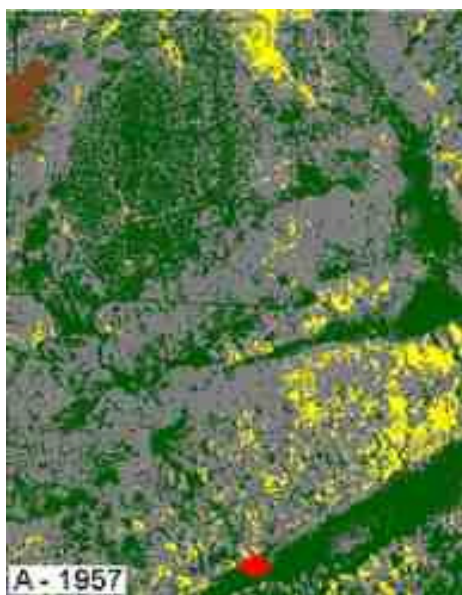
Sur l'image provenant de la photographie aérienne de 1957, la végétation (en vert) est relativement dense et les remaniements éoliens (en jaune) sont quasi inexistantes.

L'image provenant de la photographie aérienne de 1975 met en évidence, après la première grande sécheresse de 1968, la disparition de la plus grande partie de la végétation qui est essentiellement conservée dans les lits d'oueds. La remobilisation des sables affecte des superficies plus étendues et intéresse en particulier les sommets des dunes et les auréoles autour des villages.

Suite à la terrible sécheresse du début des années quatre-vingts (image provenant d'une image SPOT, 1987), le secteur balayé par la déflation s'est considérablement élargi, traduisant ainsi la progression de la dégradation environnementale. La végétation est réduite de moitié par rapport à 1975.

Méthode et Résultats

D'autre part, l'augmentation considérable du volume du delta (zone rouge) de l'oued alimentant une mare située au sud de la zone d'intérêt témoigne de l'augmentation de l'érosion hydrique. Finalement, sur cette même image, notons que la zone mise en évidence par une flèche correspond à la disparition du sol, faisant apparaître une cuirasse latéritique là même où le sol était recouvert d'une végétation relativement dense à la fin des années cinquante. Cet exemple précis prouve que la dégradation dite irréversible peut survenir très rapidement (moins de trente ans).



La comparaison des images provenant de photographies aériennes et d'une image satellitaire SPOT, met en évidence la dégradation environnementale dans la zone semi-aride de Makao-ratchi-Gayi, département de Zinder au sud-est du Niger (période 1950-1990).

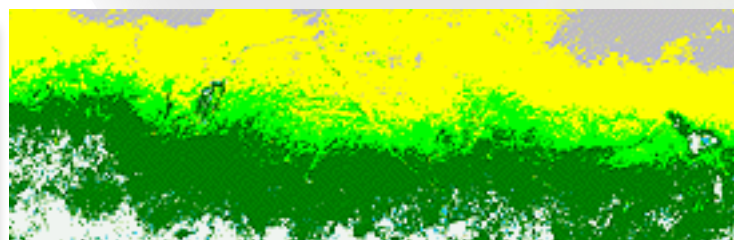
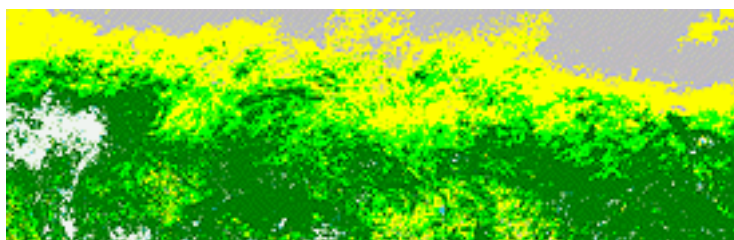
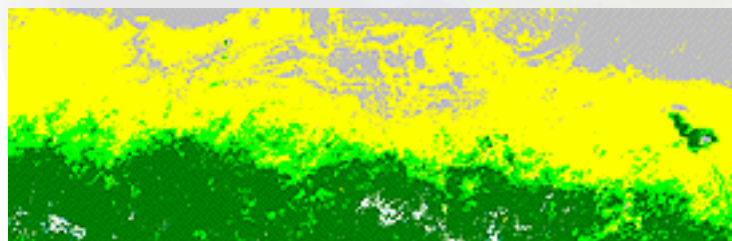
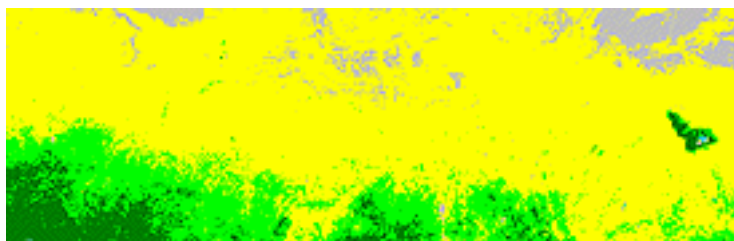
- sables non remaniés
- sables remaniés
- dépressions et végétation
- reliefs de quartzite
- delta

Méthode et Résultats

Les systèmes d'alerte précoce

Dans la région sahélienne, la majorité des activités est consacrée à l'agriculture. Soumise à des conditions météorologiques très variables, la population est confrontée à de graves problèmes d'alimentation durant les années à fort déficit pluviométrique ou lorsque les pluies sont mal réparties pendant la saison de végétation. Ces situations doivent être prévues longtemps à l'avance afin de permettre aux pouvoirs décideurs et aux bailleurs de fonds de réagir suffisamment rapidement pour tenter d'éviter ou de limiter les effets de ces famines potentielles. Parmi les outils employés pour prévoir ce type de désastre, l'association des capteurs à basse résolution spatiale AVHRR de NOAA et des capteurs de Météosat a servi jusqu'à présent dans le suivi global de la végétation. Un nouveau capteur Végétation placé sur le satellite SPOT-4 permet actuellement d'améliorer la précision spatiale et temporelle par rapport aux capteurs des satellites précédents et, donc, de fournir aux décideurs un outil plus performant dans le cadre spécifique des systèmes d'alerte rapide de pénurie alimentaire.

Cette technique utilise les informations satellitaires au pas de temps décadaire (tous les dix jours). Elle permet, sur un territoire très vaste (plusieurs millions de km²), d'obtenir une information précise (1 km²) en temps réel de l'état de la végétation. A titre d'exemple, une animation des images SPOT Végétation (du 1/04/1998 au 21/10/1998) est présentée pour une zone s'étendant longitudinalement de l'extrême ouest du Mali jusqu'à l'extrême est du Niger. Cette animation montre l'évolution saisonnière du couvert végétal avec, dès le mois de juin, l'avancée vers le nord du front de végétation.



Images SPOT Végétation (du 01/04/1998 au 21/10/1998) pour une zone s'étendant longitudinalement de l'extrême ouest du Mali jusqu'à l'extrême est du Niger. Cette succession d'images montre l'évolution saisonnière du couvert végétal avec, dès le mois de juin, l'avancée vers le nord du front de végétation.

Team

Coordinateur

André Ozer
Université de Liège
Institut de Géographie
Laboratoire de Géomorphologie et Télédétection
Allée du 6 Août, 2 B11
B-4000 Liège

Tel : +32 (0)4 / 366.54.46
Fax : +32 (0)4 / 366.57.22
e-mail : aozero@ulg.ac.be

Partenaires

Pierre Ozer, Michel Erpicum, Adrien Legat (ULG)
Salifou Karimoune (Ecole Normale Supérieure, Université Abdou Moumouni)
Bernard Tychon (FUL)



Infos

Résumé

La désertification augmente de plus en plus à cause des activités humaines telles que le surpâturage, la surexploitation des terres, le déboisement, la coupe de bois de chauffe, la salinisation, mais également à cause des changements climatiques. Environ un quart de la surface terrestre est menacé et la subsistance de plus de 100 millions de personnes est en jeu.

La combinaison de photos aériennes et d'images satellitaires permet de suivre l'évolution à long terme de la couverture végétale d'une région en danger. L'utilisation des images satellitaires est toutefois plus importante encore pour les systèmes d'alerte qui permettent une planification durable des zones menacées. Les capteurs tels que AVHRR, Météosat et Végétation permettent, grâce à la haute fréquence de leurs images globales, de suivre de près les modifications de la couverture végétale et de signaler à temps tout écart par rapport à la normale.

Région observée



Données utilisées

SPOT XS
SPOT VGT