

Ecosystèmes forestiers tropicaux et Télédétection

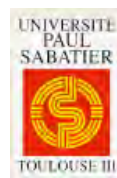
dans le contexte du changement global

Apport de la Très Haute Résolution Spatiale



UMR 5245 CNRS/UPS/INPT

Valérie Trichon



Plan de la présentation

- I. Problématiques, principes et définitions liées à la télédétection (TD)
- II. Diversité des recherches liées à l'étude des écosystèmes forestiers tropicaux (FT) par TD dans le contexte du Changement Global (CG)
- III. Apport de la très haute résolution spatiale

- | -
Problématiques, principes et
définitions de TD

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Problématique

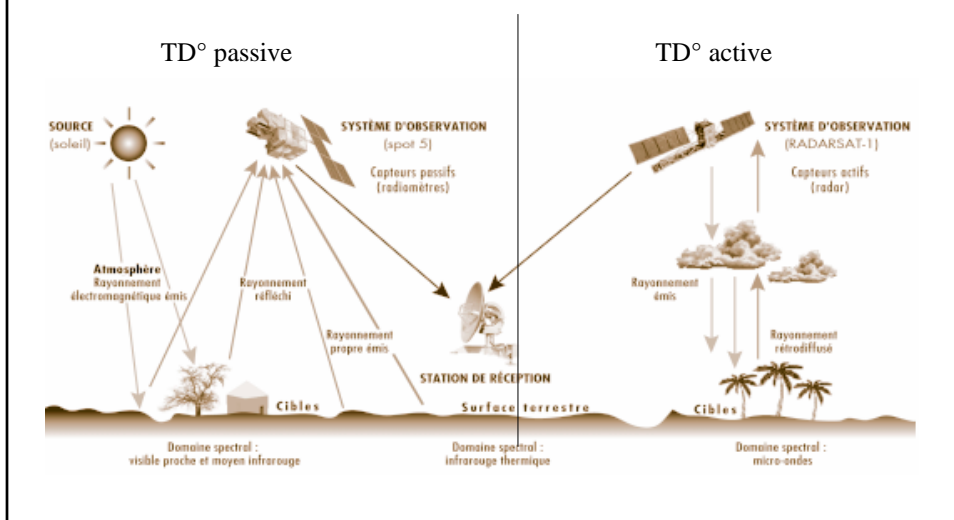
- TD = détection à distance
 - altimètre laser, appareil photo, spectromètre imageur....
- Informations répétées sur de grandes surfaces
- Particulièrement intéressant pour
 - écosystèmes reculés, accès difficiles (FT)
 - l'étude des processus de grande ampleur spatiale (CG)

La TD a un très grand rôle à jouer dans le
contexte actuel du Changement Global

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Principe de la TD

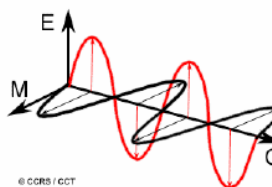
Capter l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi par une cible, l'enregistrer, le traiter et l'analyser



Rayonnement et spectre électromagnétique

Rayonnement électromagnétique monochromatique REM

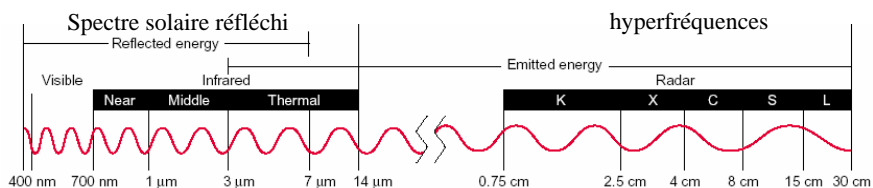
Tout objet naturel émet une onde électromagnétique dans tout le spectre avec des intensités variables



Le spectre électromagnétique:

de $10^{-7} \mu\text{m}$ à 1000 m, des rayons cosmiques aux ondes radio

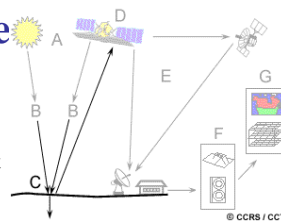
Zones du spectre utilisées en TD: visible, Infrarouge, hyperfréquences



Inter-actions rayonnement - cible



I = rayonnement incident
 A = rayonnement absorbé
 T = rayonnement transmis
 R = rayonnement réfléchi

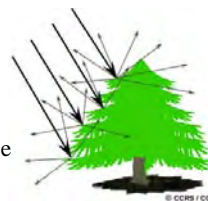


En télédétection du couvert végétal on mesure le rayonnement réfléchi (ou émis, cas particulier)

Il dépend de la longueur d'onde du rayonnement reçu, de la nature de la surface observée, et de sa rugosité

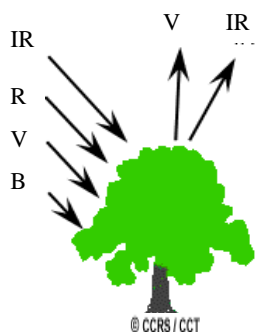


Réflectance spéculaire



Réflectance diffuse

Propriétés simplifiées de réflectance foliaire



Visible

Forte absorption par les pigments foliaires (chlorophylles a,b, carotènes) particulièrement dans le bleu et le rouge maximum de réflexion dans le vert

Proche Infrarouge

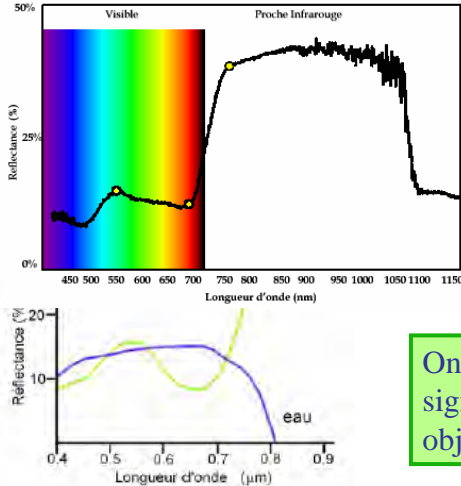
Faible absorption due au contenu et à la structure interne des feuilles

Moyen infrarouge

Absorption de plus en plus forte avec des valeurs extrêmes atteintes dans les bandes d'absorption de l'eau

Signatures spectrales

Signature spectrale typique d'une feuille chlorophyllienne



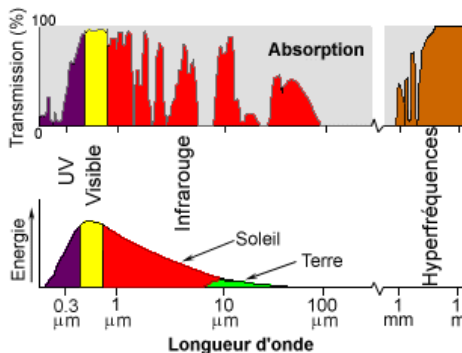
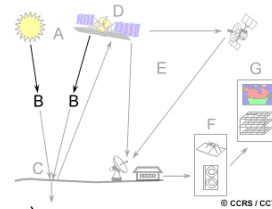
Chaque type d'objet possède une signature spectrale plus ou moins caractéristique: courbe de l'intensité du rayonnement réfléchi en fonction de la longueur d'onde

On utilise les différences de signatures spectrales des objets pour les différencier

Inter-actions rayonnement - atmosphère

Diffusion et absorption par l'atmosphère

L'ozone absorbe les rayons ultraviolets
 Le CO₂ absorbe dans l'infrarouge thermique et emprisonne la chaleur dans l'atmosphère
 La vapeur d'eau absorbe une bonne partie du rayonnement infrarouge (masses d'air tropical souvent chargées en vapeur d'eau)



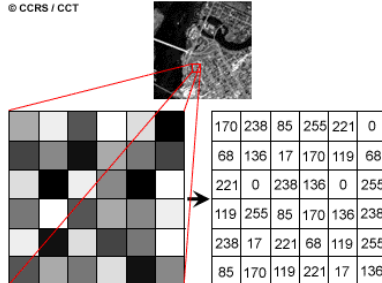
Les fenêtres atmosphériques
 Régions du spectre minimisant l'impact atmosphérique

Intérêt de la TD radar en FT

Les notions d'image et de résolution en TD

Résolution spatiale: taille du pixel = plus petit élément de la matrice qui constitue une image enregistrée

© CCRS / CCT



Résolution spectrale: nombre et finesse des bandes spectrales dans lesquelles le capteur enregistre l'information

Il existe des capteurs **multispectraux** (quelques bandes spectrales assez larges) et des capteurs **hyperspectraux**, (centaines de bandes spectrales très fines)

Résolution radiométrique: capacité de reconnaître de petites différences d'intensité dans l'énergie électromagnétique. Le nombre maximum de niveaux d'intensité disponibles dépend du nombre de bits utilisés pour représenter l'intensité enregistrée.
Pour 8 bits = 256 niveaux d'intensité disponibles, pour 4 bits = 16 niveaux

Les Indices de Végétation (IV)

Principe : utiliser le contraste important de réflectance dans le PIR et le R entre les couverts végétaux et les sols nus

Simple à utiliser

Peu sensibles aux effets atmosphériques et à la géométrie de l'acquisition

Montrent des relations significatives avec certains paramètres: indice foliaire, taux de couvert, activité chlorophyllienne et état sanitaire des couverts végétaux

RVI ou SR : Ratio Vegetation Index ou Simple Ratio

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index $(PIR - R) / (PIR + R)$

Mais saturation en cas de forte couverture végétale

Principaux capteurs et satellites actuels

Satellite	Panchromatique Multibande	Résolution spatiale	Résolution spectrale	Fauchage	Produits dérivés (Date 01/01/2000)
-----------	------------------------------	------------------------	-------------------------	----------	---------------------------------------

Basse résolution spatiale

SPOT (VEGETATION)	Multibande	1 km	Optique	2°2 km	Produits de synthèse (synthèse journalière, décadaire), indice de végétation (NDVI)
METEOSAT	Multibande	2,25 et 4,5 km	Optique	Hémisphère	Produits météorologiques, océanographiques et géophysiques
MSG (Meteosat Second Generation)	Multibande	1 et 3 km	Optique	Hémisphère	Produits météorologiques, océanographiques et géophysiques
ENVISAT (MERIS)	Multibande	300 m	Optique	1 150 km	Produits dérivés des mesures de la couleur des océans (cycle du carbone, gestion des zones de pêche, gestion des zones côtières...)
SMOS (Fev 2007)		35 et 50 km	Radar	1 000 km	Cartes (humidité des sols, salinité des océans)
PARASOL	Multibande	6*7 km	Optique	2 400 km	Cartes du bilan radiatif, observation des nuages et aérosols

Source CSFD, dossier thématique télédétection

Correspondance entre la résolution des images satellites et les échelles cartographiques :

1 000 m -> 1/1 500 000 • 30 m -> 1/30 000 • 20 m -> 1/50 000 • 10 m -> 1/24 000 • 5 m -> 1/12 000 • 1 m -> 1/2 000

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Principaux capteurs et satellites actuels

Satellite	Panchromatique Multibande	Résolution spatiale	Résolution spectrale	Fauchage	Produits dérivés (Date 01/01/2000)
-----------	------------------------------	------------------------	-------------------------	----------	---------------------------------------

Moyenne à haute résolution spatiale

ERS 1,2		25 m	Radar	100 km	Produits de cohérence permettant de réaliser (dériver) des cartes d'occupation des sols (particulièrement en zone tropicale), géologiques, Cartes d'humidité des sols, cartes des zones inondées, MNT.
SPOT 1, 2, 3 et 4	Panchromatique Multibande	10 m 20 m	Optique	60°60 km 60°80 km	Cartes, spatio-cartes, MNT, plans d'information
LANDSAT 7 (ETM)	Panchromatique Multibande	15 m 30 m	Optique	185°170 km	Cartes, spatio-cartes, plans d'information
LANDSAT 4, 5	Multibande	30 et 60 m	Optique	185 km	Cartes, spatio-cartes, plans d'information
ENVISAT (ASAR)		10 à 1 000 m	Radar	15°5 km à 405°405 km	Cartes (géologiques, topographiques, humidité des sols, zones inondées, pollution marine, dynamique côtière, glaciologie...), plans d'information, MNT
TERRA (ASTER)	Multibande	de 15 à 90 m	Optique	60 km	Cartes, spatio-cartes, plans d'information, MNT

Source CSFD, dossier thématique télédétection

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Principaux capteurs et satellites actuels

Satellite	Panchromatique Multibande	Résolution spatiale	Résolution spectrale	Fauchage	Produits cartographiques (type d'informations)
-----------	------------------------------	------------------------	-------------------------	----------	--

Très haute résolution spatiale

SPOT 5	Panchromatique Multibande	2,5 m et 5 m 10 m	Optique	60°60 km 60°120 km	Cartes (géologiques, pédologiques, occupation des sols, de vulnérabilité), spatocartes, plan d'information (réseau hydrographique, routier, chemin de fer), modèle numérique de terrain (MNT).
IKONOS 2	Panchromatique Multibande	1 m 4 m	Optique	11°11 km	Cartes, spatocartes, plans d'information, MNT
QUICKBIRD	Panchromatique Multibande	0,60 et 0,7 m 2,4 et 2,88 m	Optique	16,5 km	Cartes, spatocartes, plans d'information, MNT
ORBVIEW 3	Multibande	1 et 4 m	Optique	8°8 km	Cartes, spatocartes, plans d'information, MNT
HELIOS 2A		30 cm	Optique	Confidentiel	Defense
Pleiades (2008-2009)	Panchromatique Multibande	0,7 m 2,8 m	Optique	21 km	Cartes, spatocartes, plans d'information, MNT
EROS A	Panchromatique	1 - 1,8 m	Optique	12,5°12,5 km	Cartes, spatocartes, plans d'information, MNT
ROCSAT-2	Panchromatique Multibande	2 - 5 m 8 - 20 m	Optique	24°24 km	Cartes, spatocartes, plans d'information, MNT
IRS-P6	Multibande	5,8 m 23 m 60 - 70 m	Optique	24 à 70 km 140 km 740 km	Cartes, spatocartes, plans d'information
RADARSAT-1		de 3 à 100 m	Radar	20 à 500 km	Plans d'information, MNT, cartes (humidité des sols, zones inondées)

Source CSFD, dossier thématique télédétection

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

- || -

Diversité des recherches par TD
sur le thème
écosystèmes forestiers tropicaux
et changement global

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Forêts tropicales et TD

Outils nombreux et objectifs multiples :
une littérature foisonnante

- Gestion des compromis résolution spatiale/ résolution spectrale / résolution radiométrique / surface couverte / coût / répétitivité / complexité de traitement du signal / traitement de grandes quantités d'information
- Grande part de recherche méthodologique pour améliorer le traitement des données disponibles et mieux répondre aux objectifs
- Les scientifiques sont également mis à contribution dans la recherche liée à l'élaboration des futurs capteurs

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Forêts tropicales et TD

Des inégalités géographiques

- 66% des 245 articles concernant FT et TD publiés entre 1995 et 2003 dans revues indexées se réfèrent à l'Amazonie, contre 18% Afrique centrale et 17% Asie Sud-Est (<http://isiwebofknowledge.com>)
 - Longue tradition de l'INPE brésilien (recherches spatiales) d'aide au développement de l'imagerie satellitaire et intérêt de la NASA envers l'Amérique Latine
 - ex: LBA = Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Forêts tropicales et TD

Des outils plus prisés que d'autres

- **LANDSAT**
 - depuis 1972, nombreuses données d'archives bon marché
 - Coût modéré des données ETM+ téléchargeables sur Internet
 - Résolution spatiale compatible avec de nombreux sujets d'étude
- **NOAA AVHRR**
 - antériorité pour les enjeux globaux (faible résolution spatiale et large couverture)
 - SPOT Végétation et MODIS (géolocalisation et calibration améliorées, + land cover products de MODIS) plus récents
- **TD Radar** moins exploitée que TD optique
Complexité du signal: moins de logiciels de traitement et d'algorithmes de classification disponibles, peu d'archives

Thématiques FT - CG abordées par TD

Quantification et modélisation des flux échangés entre forêt et atmosphère



- Quantification précise des surfaces forestières et reconnaissance des types forestiers
- Dynamique de déforestation et aspects socio-économiques de l'utilisation des terres
- Evaluation des biomasses
- Etat physiologique du couvert lié à la réponse spectrale

Impact du CG sur les écosystèmes forestiers

ENSO, feux, stress hydrique, phénologie, biodiversité

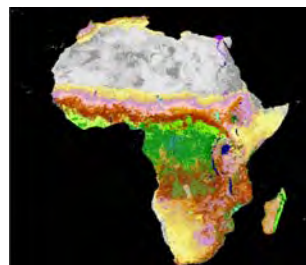
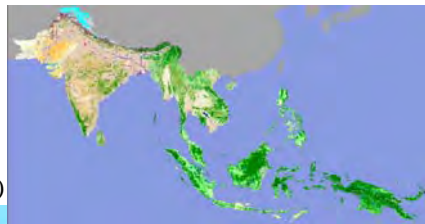
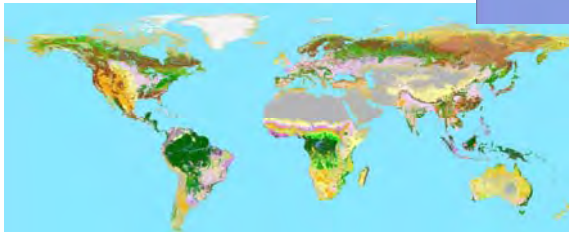
Cartographie des forêts

- **Méthode traditionnelle** : cartes forestières basées sur études terrain et survols aériens au niveau national, puis chiffres compilés par agences internationales (FAO tous les 10 ans)
 - Problèmes d'hétérogénéité des définitions de la forêt, de qualité et représentativité des inventaires nationaux et d'impartialité des gouvernements
- **Méthode moderne** : utilisation TD permettant de vérifier indépendamment les chiffres nationaux
 - Mais les différentes méthodes et interprétations engendrent des résultats souvent controversés.
 - Différences entre Global Land Cover-2000 (Projet européen, SPOT-Végétation) et MODIS Land Cover (Giri et al., 2005)

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

GLC 2000: cartographie harmonisée de la couverture végétale mondiale

SPOT4-Végétation (14 mois d'acquisition)



Mobilisation de 30 instituts, experts dans 19 régions
Légendes basées sur le système de classification FAO-UNEP

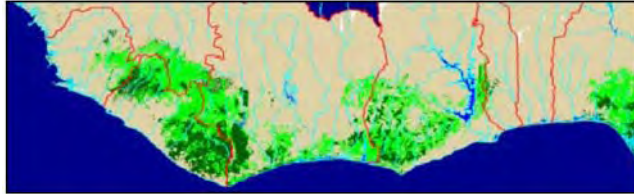
Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Cartographie des forêts tropicales

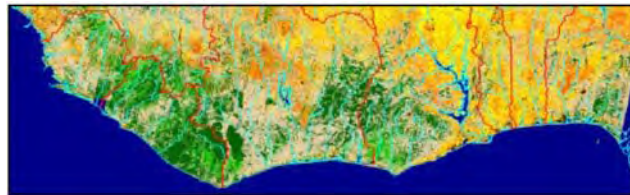
Diverses études globales à partir de données optiques ou radar

- Projet TREES (NOAA-AVHRR à 1km)
- GRFM Global Rain Forest Mapping project (Japon/US/EU), JERS-1, 100m couverture tout-temps, classifications correctes à l'échelle continentale

Carte de végétation d'AO dérivée d'une mosaïque GRFM JERS-1 SAR à 100m

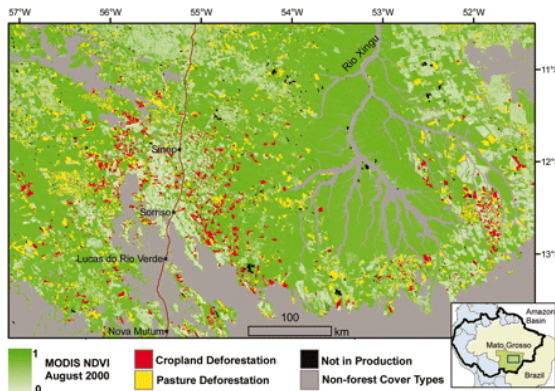


TREES: Carte de végétation d'AO dérivée de NOAA AVHRR 1 km



Suivi de la déforestation

et implications socio-économiques (a)



Morton et al., 2006

Quantification de
la déforestation
au Mato Grosso

2001-2004

MODIS, 250m

Utilisation de la haute fréquence d'acquisition données MODIS (nuages) et des caractéristiques phénologiques pour identifier le type de conversion: agriculture ou pâturages

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Suivi de la déforestation

et implications socio-économiques (b)

- L'agriculture est devenu le principal moteur de la déforestation dans le Mato Grosso
- Applications intéressantes pour l'aménagement
 - Régulation du marché agricole (soja)
 - Application des lois
- Applications pour la modélisation de la dynamique de déforestation et l'amélioration des modèles de flux de C

Ici, l'approche TD et le rendu cartographique permettent non seulement de quantifier la déforestation, mais aussi de comprendre la dynamique du processus

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Suivi de la déforestation

et estimation des flux de C

Etudes globales avec données optiques combinées

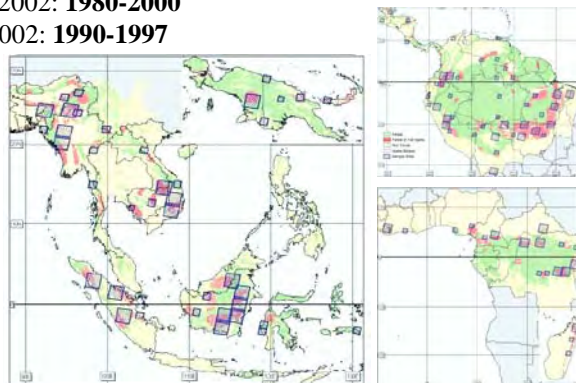
-Basse résolution NOAA AVHRR (cartographie globale au 1/ 5 000 000)

-Haute résolution SPOT ou LANDSAT (centaines de stations)

- De Fries et al., 2002: **1980-2000**
- Achard et al., 2002: **1990-1997**

- Forest
- Forest in Hot Spots
- Non Forest
- Water Bodies
- Sample Sites

Carte des FTH au
1/5 000 000
(NOAA AVHRR)



Achard et al., 2002

Suivi de la déforestation

et estimation des flux de C

- Achard et al., 2002
Estimations des flux annuels nets de C liés à la déforestation tropicale 23% inférieures aux précédentes (FAO FRA)
Controversées par Fearnside et Laurance, 2003
- Estimations reprises et améliorées par Achard et al., 2004
 - 1.1 ± 0.3 Gt/an pour l'ensemble des changements du couvert
- De Fries et al., 2002
 - 0.5 à 1.4 Gt/an pour les années 1990 (54% < FAO)
- Houghton, 2001
 - 2.2 Gt/an

Désaccords qui font état des difficultés d'estimer les flux de C liés à la déforestation à une échelle globale, dû notamment au manque de données locales de **biomasse**

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Estimations de biomasse

Rôle important pour estimations flux C

Végétation $\pm 50\%$ de C

Les imprécisions sur les estimations de biomasse jouent autant sur les estimations de flux de C que les imprécisions sur les taux de déforestation

En régions tropicales, une incertitude d'environ 50% sur la biomasse moyenne entraîne une incertitude d'environ 80% dans l'estimation des flux de C

Houghton, 2005

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Estimations de biomasse

Rôle important pour estimations flux C

- 1) La déforestation n'est pas la seule entrée pour évaluer les échanges de C liés aux modifications des écosystèmes forestiers tropicaux
 - Pertes de biomasse associées à diverses formes de dégradation: coupes sélectives, fragmentation
 - Accumulations de biomasse par les forêts secondaires en croissance
- 2) Besoin de relier spatialement les perturbations du couvert forestier avec les données de biomasse spécifiques du lieu géographique, pour estimer les flux de C associés à la dégradation

Importance de différencier les types de dégradation et les différents types forestiers par TD pour améliorer les estimations de biomasse

Estimations de biomasse

des estimations délicates en FT

- Controverses sur les accroissements de biomasse globale en Amazonie à partir de données terrain à long-terme
 - Phillips et al., 1998 et Baker et al., 2004, accroissement
 - Clark, 2002, 2004, pas d'accroissement
- Comparaison de 7 approches différentes (dont 2 par TD) de la biomasse de forêts brésiliennes (Houghton , 2001)
 - variations importantes de biomasse totale (facteur 2) et de localisation des zones de forte ou faible biomasse

Estimations de biomasse

en couvert moyennement dense

- Estimation de biomasse possible pour des couverts peu dense
 - Forêt tropicale sèche (Gillepsie et al., 2006, NDVI et MIRI sur données TM)
 - Forêt secondaire < 15 ans, environ 150t/ha (Steininger, 2000, MIR sur TM)
 - Mosaïque de forêts secondaires (Lu et al., 2004)
 - Régénération (Luckman et al., 1997, radar)

.....

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Estimations de biomasse

en couvert très dense

- **Saturation du signal spectral** dans couverts de fort LAI et forte biomasse: faibles relations des indices de végétation avec la biomasse des FTH de terre ferme et des mangroves
- Développement d'autres approches
 - analyses de régressions multiples
 - réseaux de neurones
 - analyses de texture
- Utilisation de capteur LIDAR
- ...

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Estimations de biomasse en forêt dense

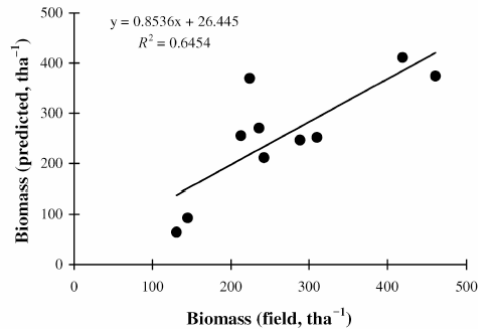
Foody et al., 2001- TM

a. Echec des IV à rendre compte de la biomasse en FTH, Bornéo
le NDVI en particulier très faiblement corrélé à la biomasse

b. Succès des réseaux de neurones pour rendre compte de la biomasse

Les réseaux de neurones peuvent analyser des jeux de données complexes sans faire d'hypothèses a priori

Ils permettent d'estimer la structure forestière à partir de données de TD même si les relations sous-jacentes sont complexes et non linéaires



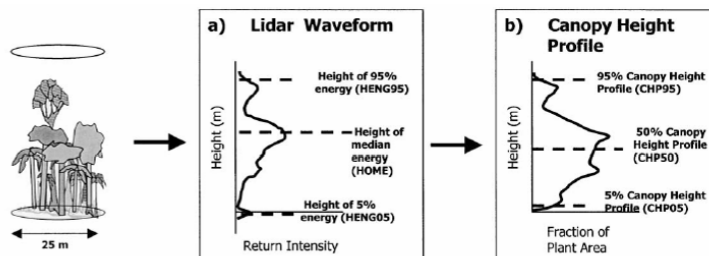
Estimations de biomasse en forêt dense

Capteur LIDAR

LIDAR: Light Detection and Ranging systems

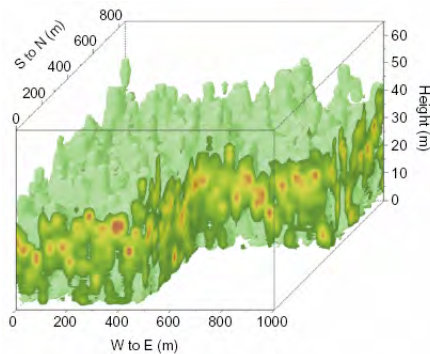
ex: Laser Vegetation Imaging Sensor aéroporté : LVIS

Altimètre laser scanner: mesure énergie laser PIR envoyée sur couvert, qui inter-agit avec les différents éléments et produit un profil vertical du couvert.



Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Estimations de biomasse en forêt dense



Drake et al., 2006 - LIDAR

Relations **fiables** entre la réponse du signal et la biomasse au Costa Rica et à Panama, mais **non extrapolables** d'un site à l'autre

Importance des variables climatiques et environnementales pour développer des algorithmes d'estimation de biomasse / Lidar.

Ex: impact de canopée décidue sur la réponse du signal

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Suivi des feux

Les feux sont des indicateurs de futurs hot spots de déforestation et de conversion forestière vers agriculture ou pastoralisme

Souvent conséquence de périodes ENSO prolongées et sévères

- Potentiel des données radar (Siegert et al., 2001)
ERS-2, 25m, cartographie des feux de Kalimantan 1997-98
- TD de biomasse brûlée (Fuller, 2000) avec AVHRR
- Produit MODIS pour la détection d'anomalies thermiques (feux actifs)

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Stress hydrique et PPN

Asner et al., 2004 - Hyperion

Stress hydrique lié à déforestation, épisodes ENSO, réchauffement climatique...

- Etude du stress hydrique de la forêt amazonienne par expérimentation in situ à l'aide du spectromètre imageur Hyperion (satellite EO1, NASA, lancé en 2000)
 - Hypérior: 220 bandes spectrales, 30m résolution spatiale, gde quantité d'informations
 - saturation des IV multispectraux classiques (NDVI, SR)
 - sensibilité au stress hydrique et au changement de LAI en canopée des nouveaux indices hyperspectraux** (SWAM = spectroscopic water-absorption metric, PRI= photochemical reflectance index, proxy pour le LUE)

El Niño, phénologie et PPN

Asner et al., 2000 - NOAA AVHRR

Observation des effets d'El Nino sur la phénologie et la productivité des forêts amazoniennes

- NOAA AVHRR 1982-199
- Démontre la sensibilité interannuelle à El Nino de la phénologie et des flux de C en forêt amazonienne
 - 21% variation interannuelle d'absorption énergie
 - 18% variation interannuelle de PPN

Liens entre CG et biodiversité des FT

Autant on sait que la fragmentation ou la déforestation engendrent une perte de biodiversité, autant on a du mal à renseigner ces pertes, quantitativement et qualitativement

Les informations sur les modifications de biodiversité (génétiques, spécifiques, groupes fonctionnels...) engendrées par les changements climatiques (stress hydrique, feux, augmentation des GES...) font particulièrement défaut actuellement

Ex: le contrôle de la phénologie étant en partie environnemental, on peut attendre des perturbations de la biologie de reproduction (diminution du succès de pollinisation, par désynchronisation des plantes et de leurs pollinisateurs)

Liens entre CG et biodiversité des FT

Augmentation de la biomasse des lianes

Effet fertilisateur du CO₂

Phillips et al., 2002

- Augmentation CO₂ favorise l'accroissement des lianes, spécialement dans l'ombre (Granados et Körner, 2002)
- Effet négatif sur les arbres qu'elles « étouffent », augmentation du turn-over, favorisation des lianes dans les trouées
- Cette augmentation aurait un impact sur le puits de C
- Elle pourrait altérer la composition spécifique car l'impact des lianes sur les arbres varie selon la phylogénie et l'écologie de l'hôte



Courtesy of Schnitzer S. Bauhinia in Panama

Liens entre CG et biodiversité des FT

Rôle des COV biogéniques (Composés organiques Volatiles)

- Les FTH contribuent pour 50% à production globale annuelle de COV biogéniques dans l'atmosphère (80% pour végétaux en général)
- Rôle important des COV dans qualité de l'air: élimination des polluants de la troposphère, dynamique du CO, de N, ... selon contexte (Lerdau et Slobodkin, 2002)
- Les COV seraient responsables en grande partie de l'efficacité pluviogène de certains nuages (étude météo par TD, Silva Dias et al., 2002)
- Emissions de COV très dépendantes de lumière et t°C

Améliorer la connaissance des impacts de la déforestation et conversions d'utilisation du sol sur les émissions de COV

Liens entre CG et biodiversité des FT

Biodiversité et COV biogéniques

Lerdau et Slobodkin, 2002

- Production et émission de COV hautement dépendantes des espèces
- Taux d'émission varient d'un facteur 4 entre les espèces (facteur 3 concernant photosynthèse et respiration)
- 1/3 espèces arbres Afrique et Amérique tropicale émettent beaucoup d'isoprènes, 1/3 des espèces de succession sont de grands émetteurs de COV

Améliorer la connaissance des impacts des changements d'espèces en FT sur les émissions de COV

Biodiversité des FT et TD

approches indirectes

- Approches indirectes de la biodiversité possibles:
 - Exemple de cartographie de la biodiversité (Fuller et al., 1998)
 - Prédiction de similarités floristiques par TD (Tuomisto et al., 2003)
 - Classification selon composition floristique, et prédictions d'indices floristiques (Foody et Cutler, 2003)
- Approches directes de la biodiversité par TD: pour bientôt avec la THRS ?...

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Cartographie de la biodiversité

Fuller et al., 1998-TM

Baie de Sango, lac Victoria, Ouganda

- Classification d'images Landsat TM
- inventaires d'espèces et SIG pour extrapolation
 - Gradient de biodiversité basé sur un codage pour la richesse spécifique et la rareté des espèces

Possible car mosaïque d'écosystèmes variés

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Prédiction de similarités floristiques

Tuomisto et al., 2003-TM

FTH amazonienne, Yasuni, Equateur

- Approche par classification digitale d'images Landsat inopérante, car FTH trop homogène
- Démarche originale: Corrélation de matrices
 - Matrices de similarité spectrale
 - Matrices de similarité floristique (Mélastomatacées et Ptéridophytes)

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Prédiction d'indices de biodiversité

Foody et Cuttler, 2003-TM

Bornéo, différents sites forestiers exploités ou non

- Approche par réseaux de neurones, données Landsat TM

Capacité de la méthode à prédire des indices de biodiversité (richesse, équitabilité)

Bonne classification de 9 classes de forêts définies par leur composition floristique (arbres)

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

- III -

Apport de la TD à Très Haute Résolution Spatiale

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Apport de la TD THRS

- imagerie satellitale à résolution spatiale métrique: SPOT 5, IKONOS, Quickbird... et les photographies aériennes à grande échelle (numériques)
- Détection des couronnes d'arbres, donc des organismes et non plus du peuplement
- Images fortement texturées, développement nécessaire d'analyses de texture
- Échelle intermédiaire entre mesures de terrain et données spatiales couvrant de grandes surfaces
- Intérêt mais complexité de l'approche multi-échelle: données kilométriques à métriques

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Estimations de biomasse par analyse de texture d'image - IKONOS panchro 1m

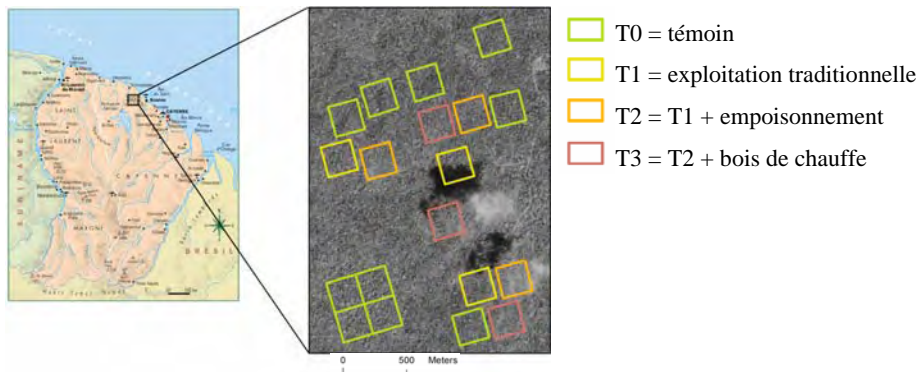
- Clark et al., 2004, La Selva Biological Station.
Corrélations significatives entre biomasse aérienne et texture (variance)
- Couteron et al., 2005, Proisy et al., 2007, Trichon et al., non publié, Guyane.
Analyse de texture basée sur l'utilisation des spectres de Fourier : bonne prédiction de paramètres forestiers (densité, diamètre moyen, biomasse) en forêt dense de terre ferme et en mangrove guyanaise

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

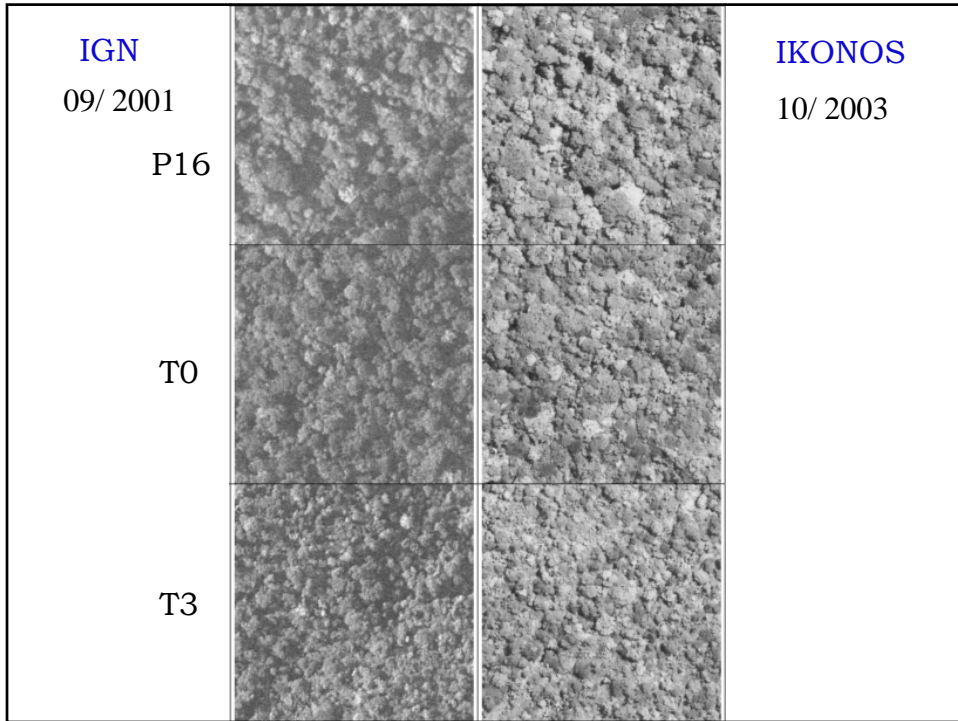
Dispositif expérimental de Paracou, Guyane

Exploitation sylvicole et régénération, Cirad-forêt

12 parcelles de 9 ha (3 x 4 traitements), interventions entre 10/1986 et 01/1988
+ 4 nouvelles parcelles non traitées

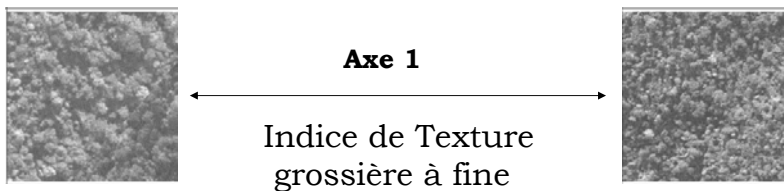


Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007



Transformées de Fourier et Indice de texture

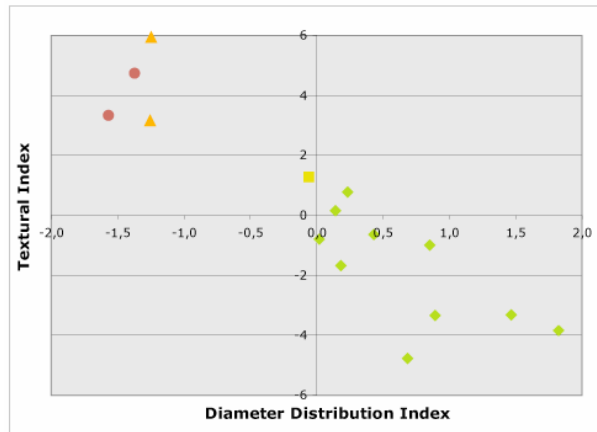
L'axe 1 de l'ACP sur les spectres de Fourier est considéré comme un axe de texture



Voir Couteron et al., 2005 pour la méthode

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Corrélations IT / Structure diamétrique

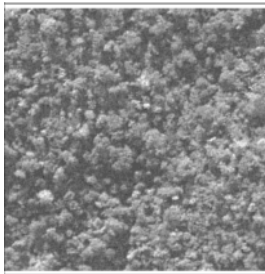


R = 0,91

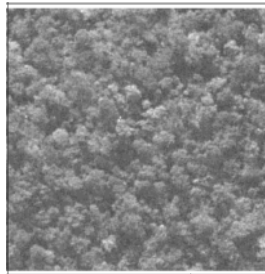
◆ :T0 ; ■ :T1 ; ▲ :T2 ; ● : T3

Trichon et al., non publié

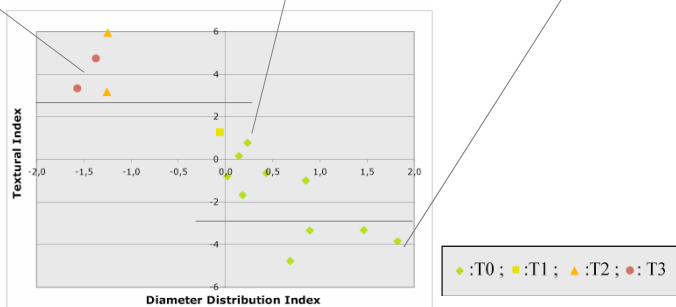
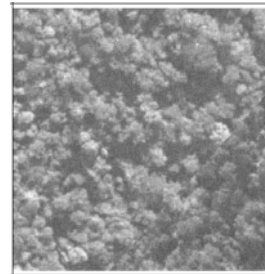
T3



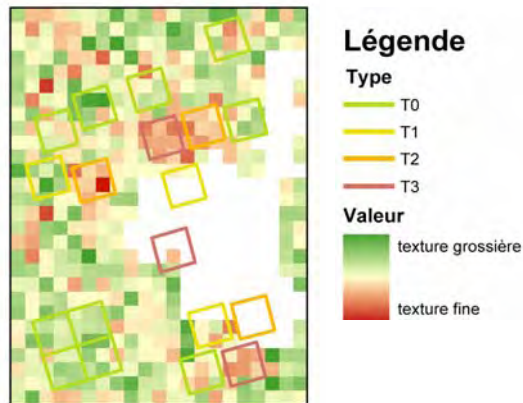
T0



P16



Cartographie de l'indice de texture



L'effet des perturbations sylvicoles par dévitalisation est perceptible 15 ans après exploitation

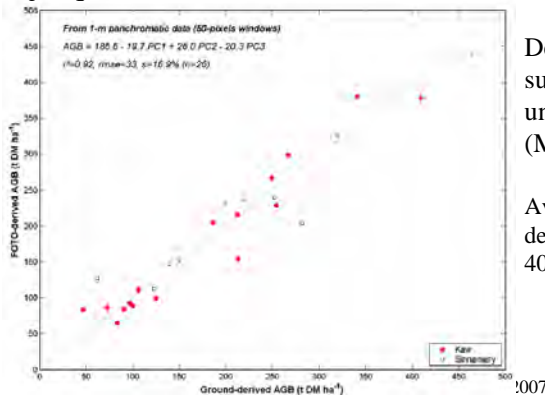
Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Trichon et al., non publié

Estimations de biomasse en mangrove guyanaise par analyse de texture - IKONOS panchro - 1m

Proisy et al., 2007

Les mangroves sont des forêts denses pour lesquelles le signal spectral visible sature aussi dans les stades matures (jusqu'à 450 t/ha)



De précédentes études basées sur le signal radar ont montré une limite à 250 tMS/ha (Mougin et al., 1999)

Avec FOTO, pas de saturation de la relation même au-delà de 400 tMS/ha

Estimations de taille de couronnes

IKONOS panchro 1m

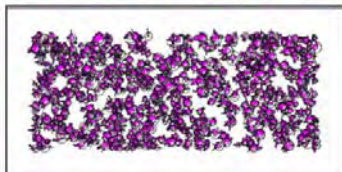
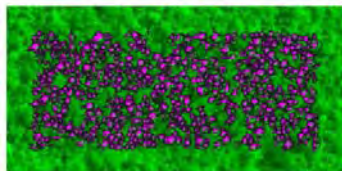
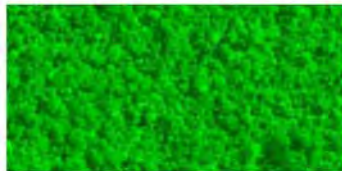
Pour affiner les relations allométriques et les estimations de biomasse

1. Délimitation manuelle

- Surestimation de la taille des couronnes par rapport aux estimations de terrain ou par Laser (Asner et al., 2002)
- Corrélations significatives mais faibles avec mesures au sol pour de gros arbres (Read et al., 2003, Clark et al., 2004)

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

2. Délimitation automatique



Résultats plus proches des estimations de terrain que ceux obtenus par délimitation manuelle, mais une différence significative subsiste

Pallace et al., soumis

Hurt et al., 2003

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Reconnaissance d'espèces en forêt guyanaise par photographies aériennes à grande échelle

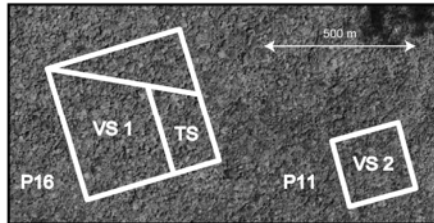


Figure 2: Design of photographic training set (TS) and validation sets (VS 1 and VS 2) for species identification over P16 and P11 plots, Paracou (plots are located on an IKONOS image, panchromatic band).

Main characteristics of aerial photographic campaigns are:

- P16 (TS and VS 1): 1996, October, original scale : 1: 3700.
- P11 (VS 2): 1997, July, original scales from 1: 1500 to 1: 8000.

Trichon et Julien, 2006

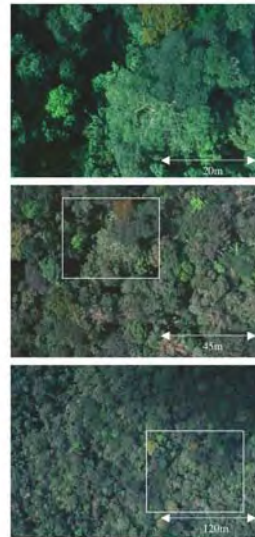
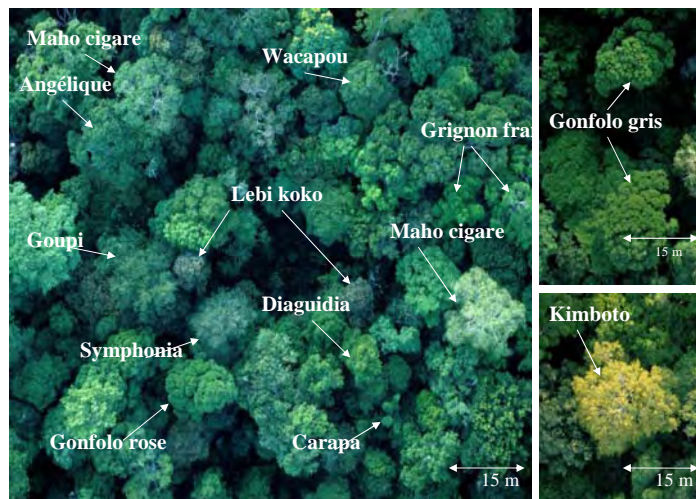


Photo 1: View of forest canopy at three scales on plot P11, Paracou. Original scales of the slides, from the bottom up, are: 1: 8000; 1: 3000; 1:1500. Photographs, D. Guillemyn.

Reconnaissance d'espèces en forêt guyanaise par photographies aériennes à grande échelle



Trichon et Julien, 2006

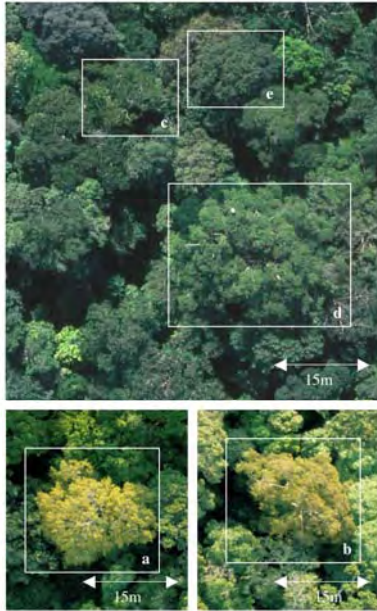


Photo 4: Kimboto crowns (*Pradosia cochlearia*) at Paracou, displaying yellow colours in October (P16 plot, a, b); yellow-green colour in July (P11 plot, c), or green colour in July (P11 plot, d, e). Photographs, D. Guillemyn.



Photo 3: A clumping of Angélique trees (*Dicorynia guianensis*) displaying various phenological status and crown features (foliage cover, texture and colour). P11 plot, Paracou. Photograph, D. Guillemyn.

Trichon et Julien, 2006

Vers une automatisé de la reconnaissance d'espèces sur photographies aériennes par segmentation et classification automatiques

Segmentation par l'écart-type - travaux en cours - ECOLAB-IRIT

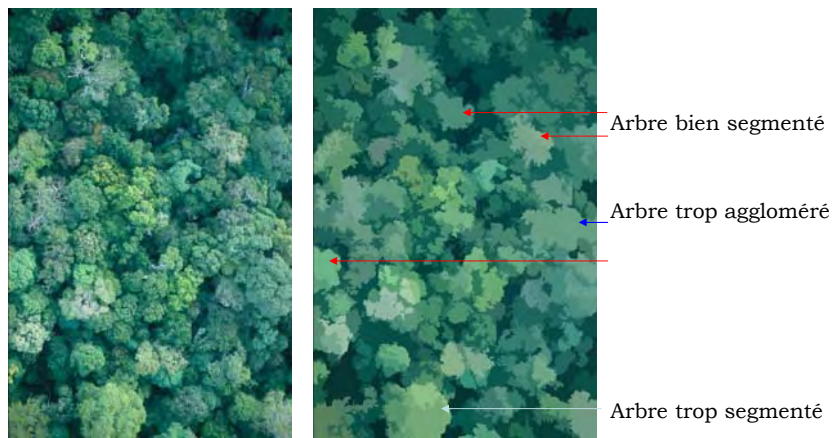
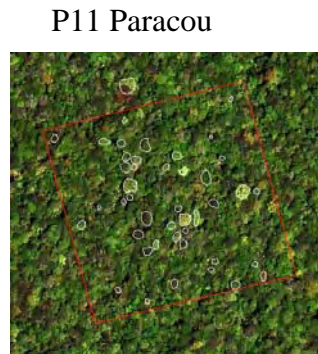


Photo aérienne rapprochée, (1: 4 000) Paracou, Guyane française

Des photographies aériennes à l'image IKONOS...



P16 Paracou



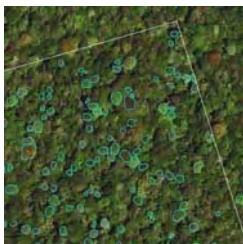
P11 Paracou

IKONOS multispectral
10/2003

- 250 couronnes délimitées
- 92 reconnues/photos
- 29 espèces ou SGS

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Recherches de critères spectraux et texturaux discriminants



Travaux en cours...



Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Conclusion sur l'apport de la TD THRS à la problématique FT et CG

- Résultats d'analyse de données THRS permettent de caractériser finement la structure du couvert (détection de perturbations anciennes ou limitées, bonnes corrélations avec les paramètres forestiers et la biomasse...)
- Poursuivre le développement des méthodes d'exploitation de ces images très texturées, les recherches sur les approches multi-échelles et la fusion d'informations spectrales et texturales (pour aborder la biodiversité ?)
- Intégrer les algorithmes de segmentation et de classification dans un environnement informatique adapté au multi-échelle (développement de chaînes de traitement informatique)

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Conclusion générale

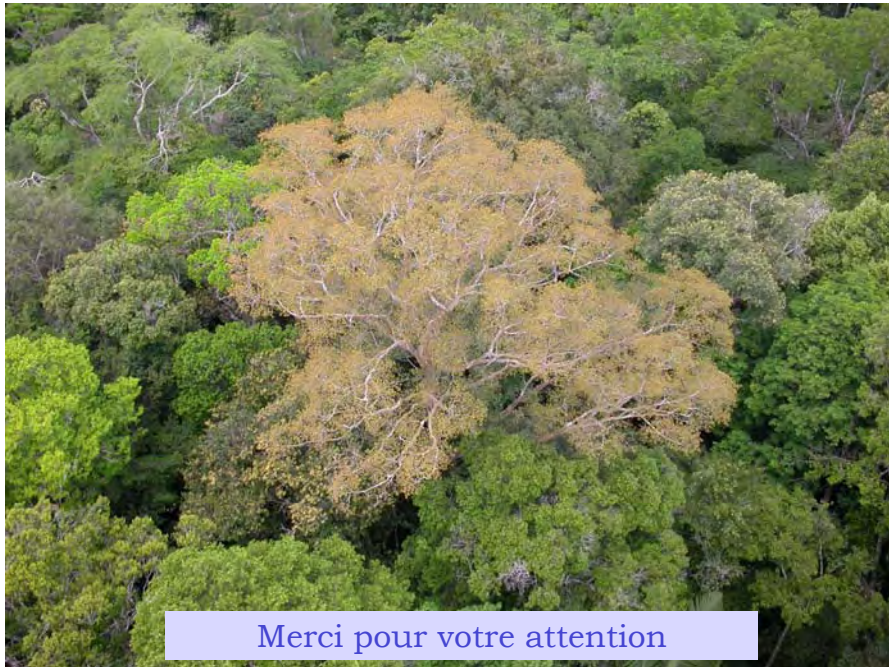
- Complexité de la problématique « écosystèmes forestiers tropicaux et changement global »
- Multidisciplinarité évidente des recherches
 - Écologues, éco-physiologistes, généticiens, socio-économistes, géographes, médecins, physiciens, mathématiciens, modélisateurs, informaticiens...
- Nécessité d'utiliser la TD, mais besoin d'améliorer les résultats, via de nouvelles approches, de nouveaux outils (beaucoup sont en préparation) et de standardiser les méthodes et les procédures

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Conclusion générale

- Intérêt données TD non militaires: pas de frontières (à priori), accessibles à nombreux utilisateurs dont les ONG, les media...
- Nouveaux outils, nouvelles méthodes, internet... vers plus de transparence dans le secteur forestier et environnemental ?
- Coûts élevé de certaines données, routines de traitement encore rares, manque de spécialistes nouvelles technologies:
 - quelle appropriation de la TD par les pays tropicaux directement concernés ?
 - développer les partenariats d'éducation et de recherche

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007



Merci pour votre attention

Programme AMMA

Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine



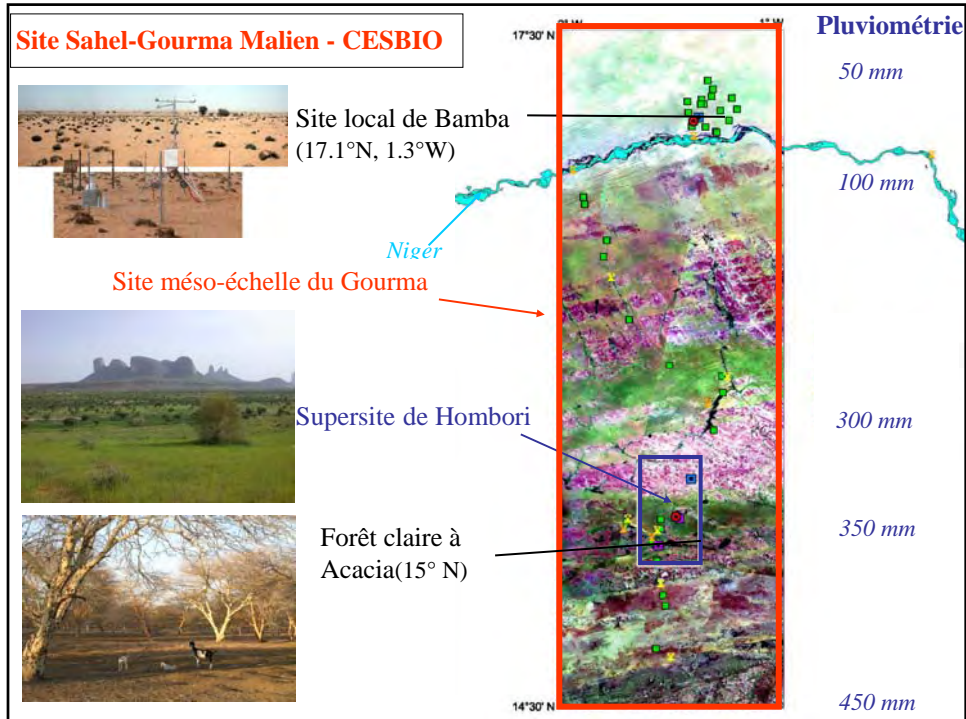
African Monsoon Multidisciplinary Analyses

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007

Objectifs du programme AMMA

- Etude du système couplé **Océan-Atmosphère-Biosphère** pour comprendre le phénomène de mousson africaine
- Etude de la **variabilité spatio-temporelle** de la mousson et ses conséquences sur les processus de surface : fonctionnement et dynamique de la biosphère
- Améliorer les bases scientifiques qui permettront d'aborder les problèmes de **ressources en eau**, de **sécurité alimentaire** et de **santé** dans les pays d'Afrique de l'Ouest

Ecole thématique ECOFOR-CNRS
Fréjus Mai 2007



Dynamique du couvert ligneux sur 50 ans

Données de TD disponibles

- Photos aériennes 1: 50 000 IGN, 1954
- Photos aériennes 1: 50 000, 1996
- Photos aériennes 1: 8 000, 1984-86 (P. Hiernaux)
- Photos aériennes 1: 8 000, 2007
- IKONOS 2005, Quickbird programmé
- SPOT 5

Données de terrain sur les transects d'étude depuis 1984:
Séries temporelles de relevés au sol pour la caractérisation
du peuplement ligneux espèce par espèce

Les Acacières du Gourma



Peuplement adulte, saison sèche

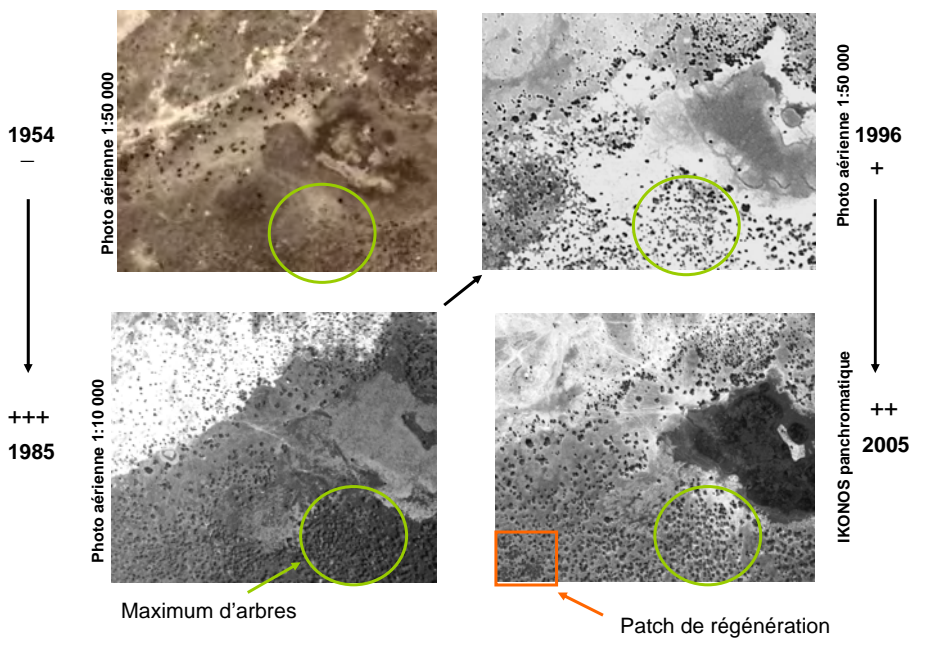


Peuplement adulte, saison sèche



Jeune peuplement, saison humide

Evolution du couvert ligneux de 1954 à 2005, acacière de Kelma



Evolution du couvert ligneux de 1996 à 2005, acacière de Bilantao

