Module 2.6 Estimation des émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse

Auteurs :

Luigi Boschetti,

Department of Forest, Rangeland and Fire Sciences,

Université de l'Idaho

Au terme du cours, les participants devraient être à même :

- Comprendre les forces et les faiblesses de la télédétection satellitaire du feu
- Décrire un éventail d'approches et de techniques de surveillance du feu
- Mettre à profit les produits du feu disponibles pour calculer les émissions provenant de la combustion de la biomasse

V1, Mai 2015

WAGENINGEN UR
For quality of life

GOFC-GOLD
Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics

FOREST CARBON PARTNERSHIP FACILITY

Licence Creative Commons

Documents de base

- GOFC-GOLD. 2014. *Sourcebook*. Section 2.6.
- GIEC. 2006. *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*, vol. 4, ch. 2, « Méthodologies génériques applicables à diverses catégories d'affectation des terres », notamment la section 2.4.
- GFOI. 2014. *MGD* (*Integrating Remote-sensing and Ground-based Observations for Estimation of Emissions and Removals of Greenhouse Gases in Forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observation Initiative*).
- GOFC-Fire Implementation Team Portal. http://gofc-fire.umd.edu/

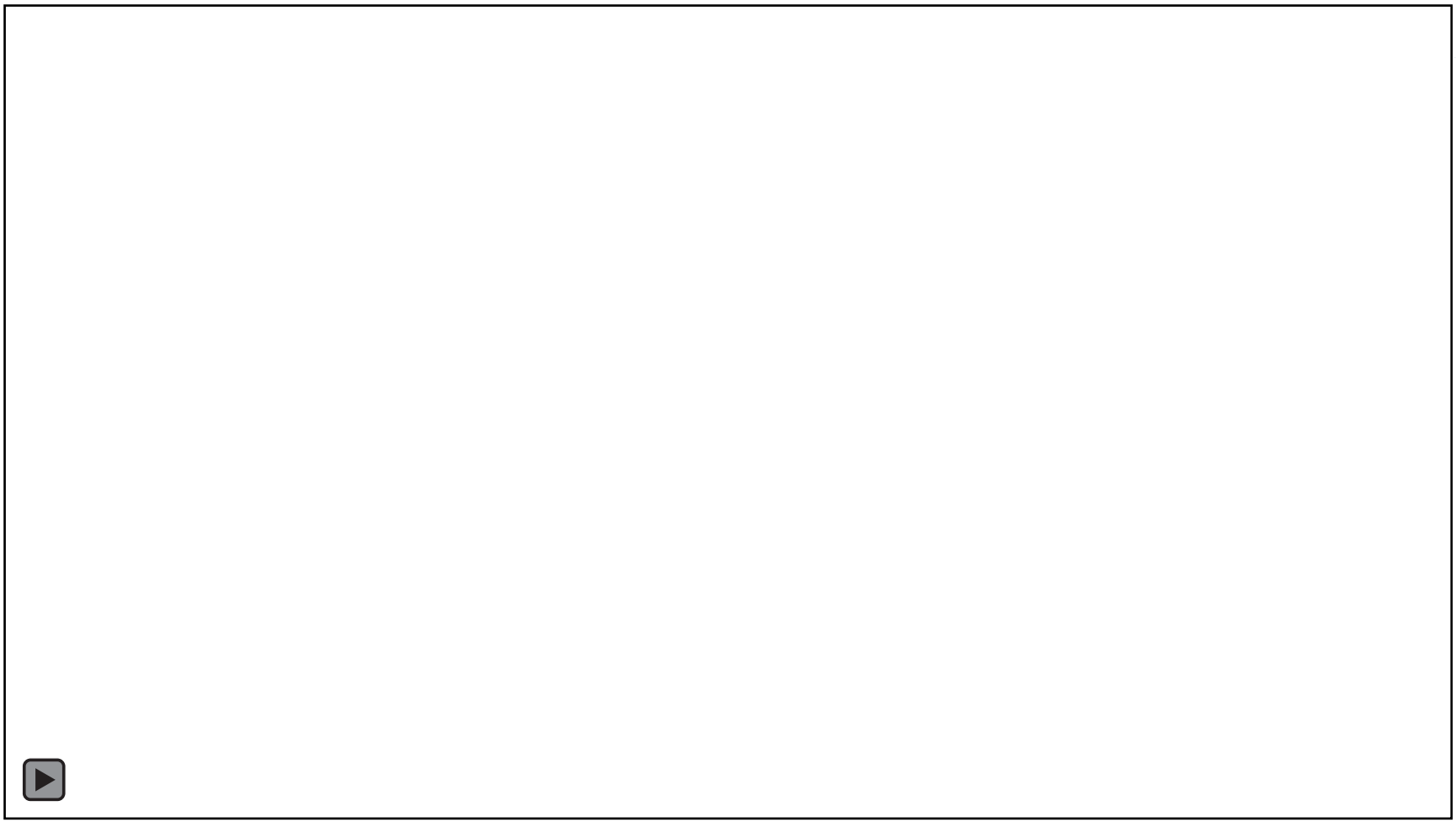
Plan du cours

1. Les feux dans l'environnement mondial
2. Surveillance de la combustion de la biomasse pour REDD+
3. Lignes directrices du GIEC pour l'estimation des émissions (CO_2 et non-CO_2) dues aux feux
4. Surveillance satellitaire du feu :
    - Détection de feux en activité
    - Cartographie de zones brûlées après un feu
5. Produits disponibles pour la télédétection du feu (Global burnt areas JRC, MODIS active fires et burned areas, FIRMS, etc.)
6. Calcul des émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse
7. Sources d'erreurs
8. Autres usages potentiels des données sur les feux à l'appui de REDD+

Plan du cours

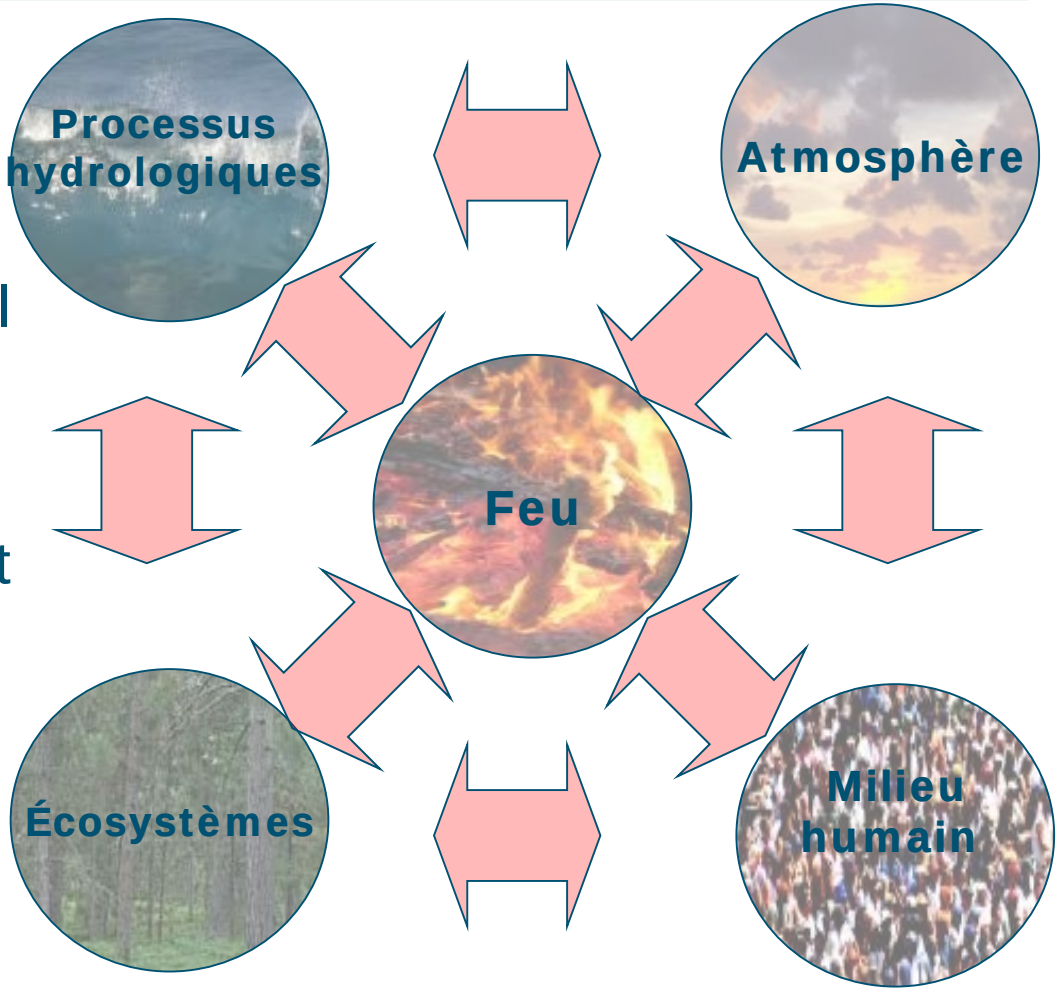
1. **Les feux dans l'environnement mondial**
2. Surveillance de la combustion de la biomasse pour REDD+
3. Lignes directrices du GIEC pour l'estimation des émissions (CO_2 et non-CO_2) dues aux feux
4. Surveillance satellitaire du feu
    - Détection de feux en activité
    - Cartographie de zones brûlées après un feu
5. Produits disponibles pour la télédétection du feu (Global burnt areas JRC, MODIS active fires et burned areas, FIRMS…)
6. Calcul des émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse
7. Sources d'erreurs
8. Autres usages potentiels des données sur les feux à l'appui de REDD+

Le feu est un phénomène mondial : Dix années de détection des feux



Pourquoi le feu est-il important ?

- Le feu est :
- Un phénomène mondial (combustion de la biomasse)
- Un processus important et incompris du système terrestre
- Un système de boucles et rétroactions multiples



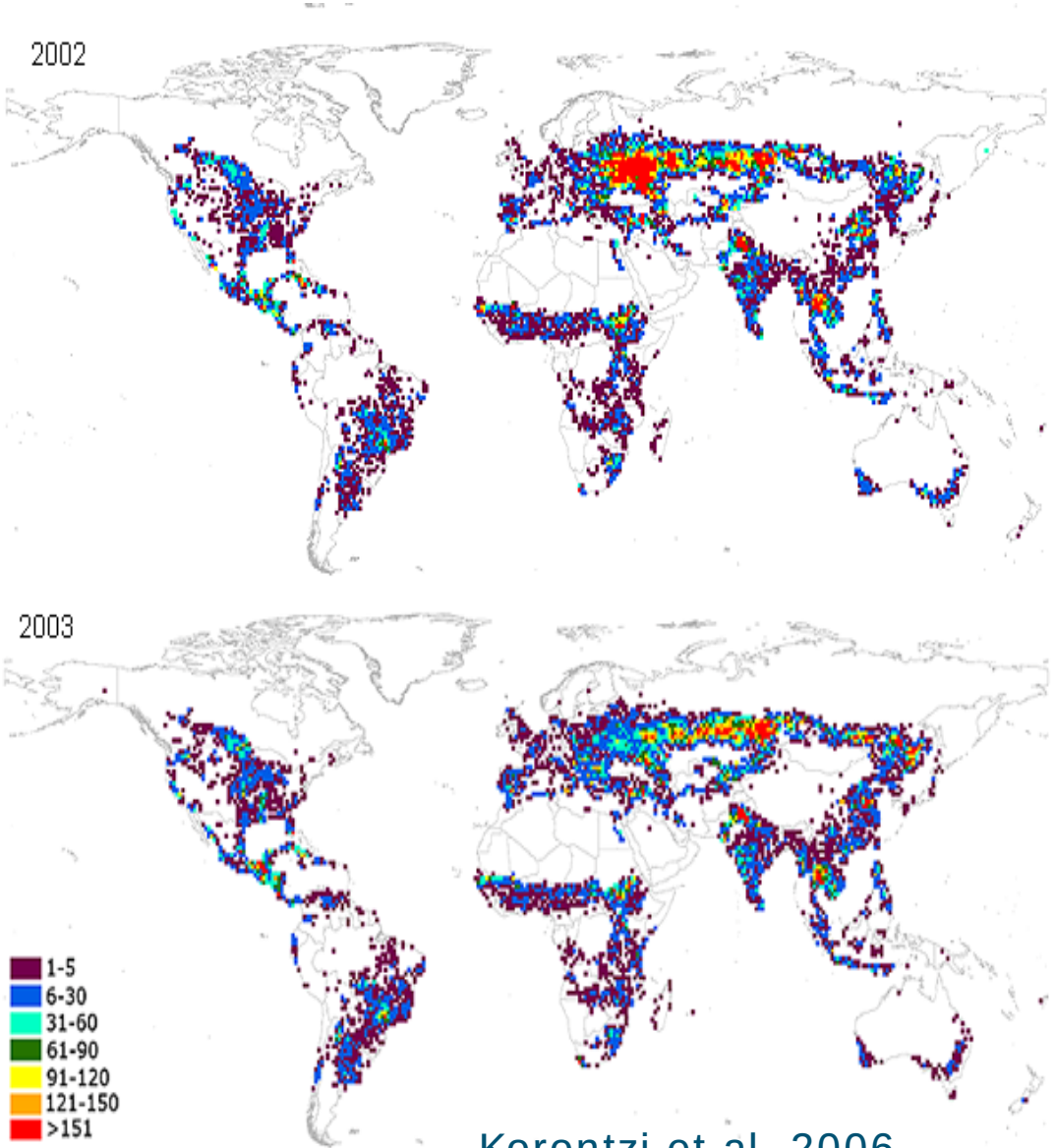
Différents feux pour différentes causes

- Feux naturels
  - Foudre
  - Volcans
- Feux d'origine humaine (>90 %, en augmentation ces 100 dernières années)
  - Déboisement
  - Outil important pour la gestion des sols dans les écosystèmes tropicaux et tempérés
  - Élimination des résidus agricoles
  - Lutte antiparasitaire
  - Feux de bois pour le chauffage et la cuisine
  - Production et utilisation de charbon
  - Incendies volontaires criminels
  - Rites culturels

Feux sauvages et feux contrôlés

Feux agricoles

Le brûlage annuel de résidus de cultures est une pratique répandue à travers le monde



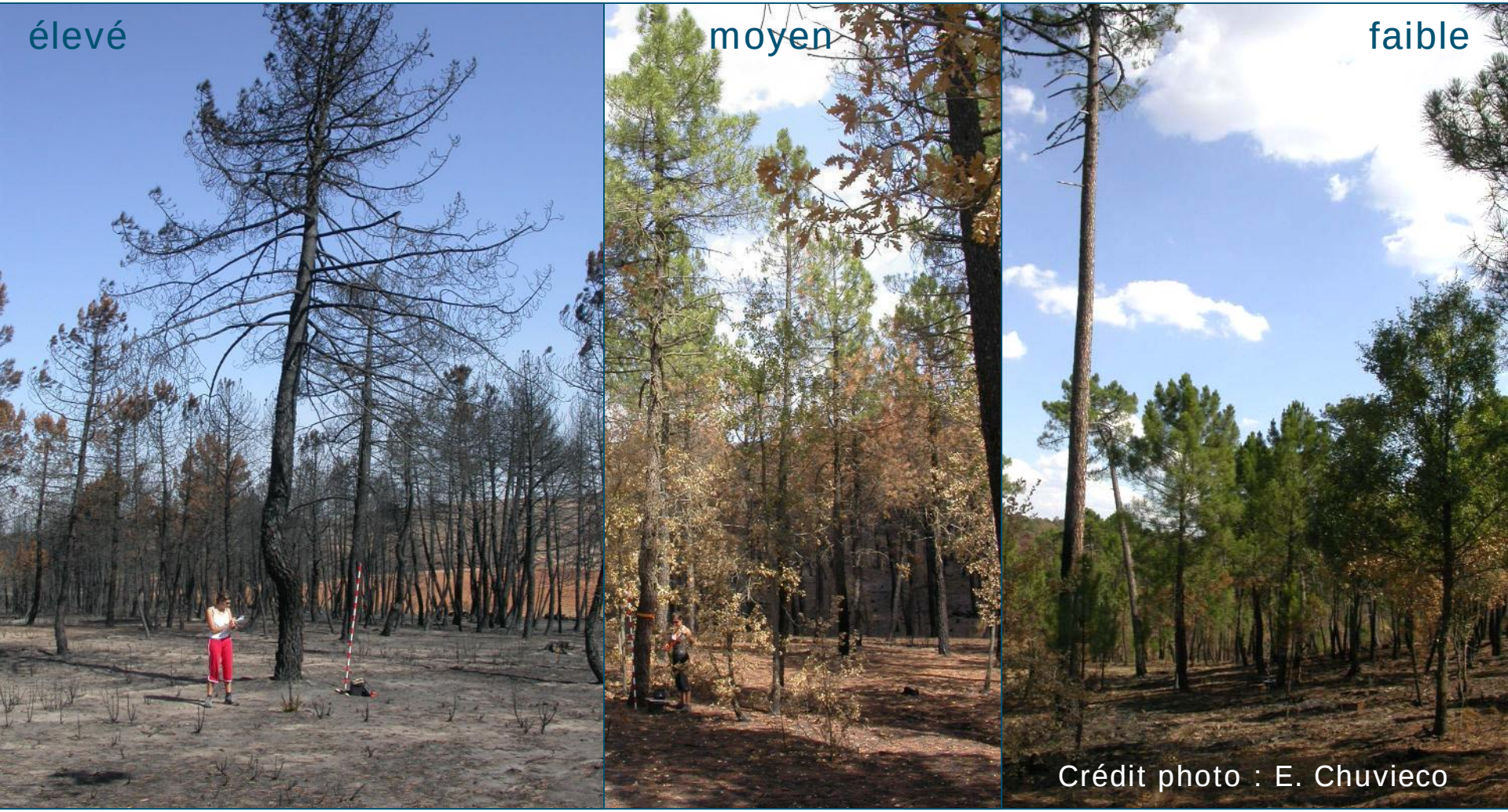
Korontzi et al. 2006.

Impacts du feu :
Biodiversité de la faune et des habitats

- Les feux ont un impact direct sur la mortalité des animaux.
- Les feux peuvent enrichir et préserver la biodiversité.
- La modification des régimes de feu peut présenter une menace pour la conservation de la biodiversité.
- Dans bon nombre d'écosystèmes, feux de brousse et espèces envahissantes sont étroitement liés.

Moutons calcinés à la suite des incendies de 2007 en Grèce

Impacts du feu : Recul et dégradation de la forêt

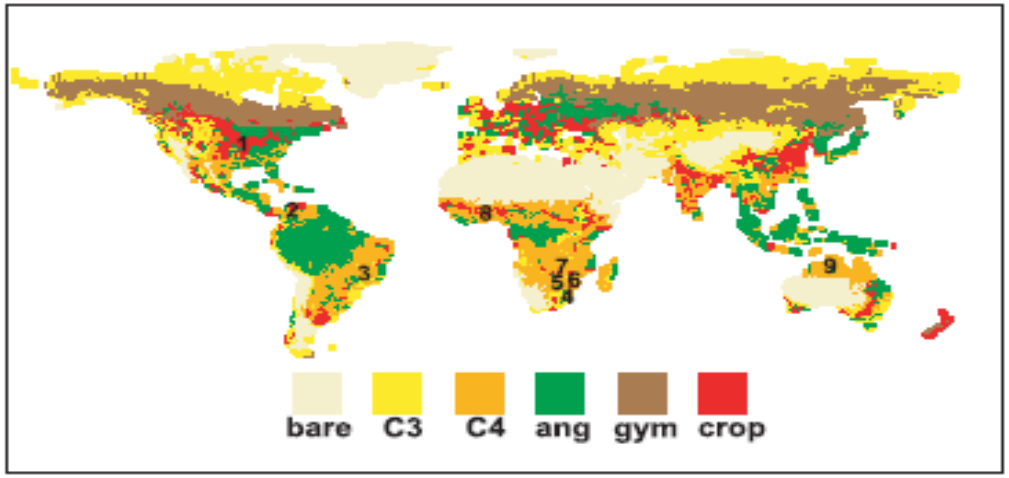


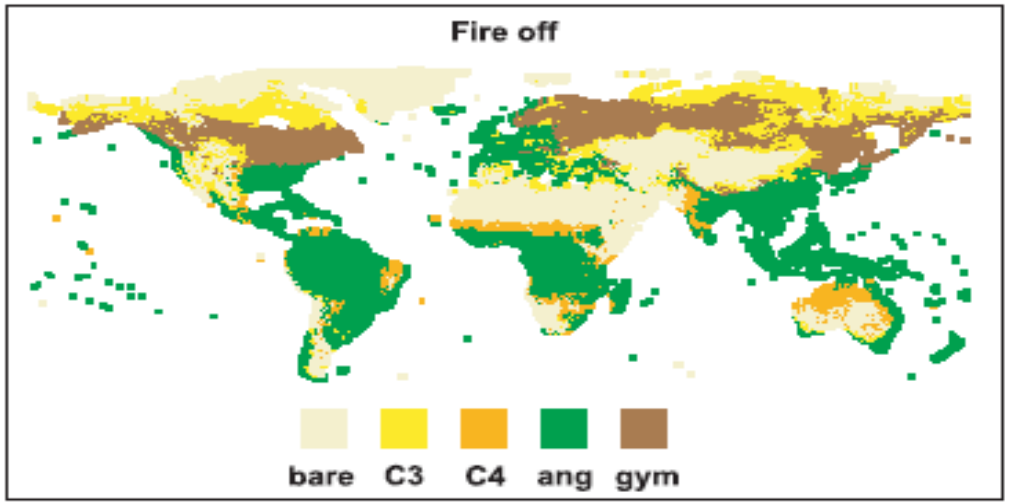
Variations de la sévérité de l'incendie

Impacts du feu : Sols

- Ruissellement des eaux et érosion du sol
- Diminution du carbone organique du sol
- Nécessité d'une évaluation et d'un traitement rapides après un feu

Répartition globale des écosystèmes dans un monde sans feu





Source : W. J. Bond, *et al*. 2005

Sans le feu, les forêts fermées doubleraient de superficie, passant de 27 à 56 % de cellules de grille de végétation, au détriment de plantes C4, mais aussi d'arbustes et d'herbes C3 dans des climats plus tempérés.

Partie gauche de l’image – surface brûlée chaque année durant les 50 dernières années, parc national de Kruger (savane sud-africaine)
Le feu a des effets positifs importants sur l’environnement.

Parcelle voisine de celle de la diapositive précédente, non brûlée durant 50 ans : mêmes sols, même climat

(William Bond, UCT)

Quelques chiffres à l'échelle mondiale : Importance du feu pour la MNV sous REDD+

- Superficie mondiale brûlée en moyenne : 3,7 millions km^2/an (Giglio et al. 2010)
- Émissions dues au feu : pas seulement de CO_2, mais aussi d'importantes quantités de gaz en traces ayant un potentiel élevé d'effet de serre (CO, CH_S, N_2O, NOx), de particules et d'aérosols
- Moyenne des émissions : 2,1 Pg C/an (van der Werf et al. 2010)
- Les feux déclenchés dans la plupart des biomes contribuent aux émissions mondiales dues aux incendies : savanes (44 %), déboisement et dégradation des forêts tropicales (20 %), terres boisées (16 %), feux de forêt (15 %), déchets agricoles (3 %), tourbières (3 %) (van der Werf et al. 2010)

Plan du cours

1. Les feux dans l'environnement mondial
2. **Surveillance de la combustion de la biomasse pour REDD+**
3. Lignes directrices du GIEC pour l'estimation des émissions (CO_2 et non-CO_2) dues aux feux
4. Surveillance satellitaire du feu
    - Détection de feux en activité
    - Cartographie de zones brûlées après un feu
5. Produits disponibles pour la télédétection du feu (Global burnt areas JRC, MODIS active fires et burned areas, FIRMS…)
6. Calcul des émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse
7. Sources d'erreurs
8. Autres usages potentiels des données sur les feux à l'appui de REDD+

Approches de surveillance du feu pour REDD+

Approach	Information	REDD+ objective	Suitability
Pre-fire	Early warning system	Protect forest areas at risk and address leakage and permanence	Most suitable for countries with significant amount of wildland fires and known fire regimes
Active fire	Hot spot satellite data	Fire relief and active emissions reduction Support of in-situ actions	Most suitable for countries with large number of small-scale deforestation fires
Post-fire	Burned area estimates	Support estimation of areas of deforestation and degradation	All countries with forest loss due to fire

Feu : Un processus biophysique complexe

- Le feu peut être considéré comme :
  - Un agent de changement écologique
  - Une perturbation
  - Un processus associé à la conversion des terres
  - Un outil de gestion

- Pour l'heure, le *Manuel de référence* (GOFC-GOLD 2014) ne couvre que les émissions provenant de la biomasse épigée. D'autres recherches sont nécessaires pour surveiller les émissions provenant de la biomasse souterraine à l'aide de produits et d'approches standards.

Activités potentielles REDD+ liées au secteur AFAT (agriculture, foresterie et autres affectations des terres)

Activités potentielles REDD+ = secteur forestier (AFAT/GIEC)

Déboisement = Terres forestières converties à d'autres usages

Dégradation

GDF = Terres forestières non converties

Conservation

Renforcement S C F

Renforcement S C F = Autres terres converties à un usage forestier

Activités potentielles REDD+ liées au secteur AFAT et surveillance du feu

Activités potentielles REDD+ = secteur forestier (AFAT/GIEC)

Déboisement = Terres forestières converties à d'autres usages

Dégradation

GDF = Terres forestières non converties

Conservation

Renforcement S C F

Renforcement S C F = Autres terres converties à un usage forestier

Activités REDD+ pour lesquelles la surveillance du feu peut présenter un intérêt

Activités liées au feu dans le cadre de REDD+

Quelles activités liées au feu peuvent présenter un intérêt pour REDD+ dans les pays en développement et nécessiter une estimation des émissions dues au feu ?

- Cartographie et surveillance du feu considéré comme une perturbation en vue de la comptabilisation du carbone (appauvrissement et dégradation de la forêt)

- Gestion du feu dans des écosystèmes sujets aux incendies

Plan du cours

1. Les feux dans l'environnement mondial
2. Surveillance de la combustion de la biomasse pour REDD+
3. **Lignes directrices du GIEC pour l'estimation des émissions (CO_2 et non-CO_2) dues aux feux**
4. Surveillance satellitaire du feu
   - Détection de feux en activité
   - Cartographie de zones brûlées après un feu
5. Produits disponibles pour la télédétection du feu (Global burnt areas JRC, MODIS active fires et burned areas, FIRMS…)
6. Calcul des émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse
7. Sources d'erreurs
8. Autres usages potentiels des données sur les feux à l'appui de REDD+

Lignes directrices du GIEC

- La méthodologie générique est décrite dans les Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, vol. 4, ch. 2.4.
- La méthodologie s'appuie sur une approche « ascendante ».
- Basée sur les travaux de Seiler et Crutzen (1980), cette approche est particulièrement appropriée à la mise en œuvre dans un environnement de SIG.
- D'autres approches existent (nous y reviendrons), mais restent à un stade expérimental, et ne sont pas aisément applicables à l'aide de fichiers de données standard.

Estimation des émissions par le GIEC

Approche ascendante du GIEC :

$$Lfeu = A \times Mb \times Cf \times Gfe$$

L = émission pour chaque gaz

A = superficie brûlée

Mb = masse de combustible

Cf = facteur de combustion

Gfe = quantité de gaz libéré par unité de biomasse consumée par le feu

Définition de la forêt

Les Accords de Marrakech indiquent que des écosystèmes naturels portant des arbres dont le houppier couvre plus de 30 % de la surface sont toujours considérés comme des forêts et que les pays peuvent décider de considérer comme une forêt les écosystèmes dont le houppier couvre 10 à 30 % de la surface.

- Ce qui inclurait la plupart des écosystèmes de savane sujets aux incendies.
- La réduction des émissions par la gestion du feu pourrait faire partie des actions à mener dans le cadre de REDD+.

Estimation des émissions par le GIEC

- Si le feu est une perturbation des écosystèmes forestiers, alors il faut comptabiliser les émissions issues du déboisement et de la dégradation des forêts (CO_2 et autres gaz).

- Dans les savanes et les prairies, les lignes directrices du GIEC supposent une repousse complète durant l'année, donc les émissions de CO_2 sont équilibrées par les absorptions de carbone (tandis que celles de CH_4 et N_2O ne le sont pas !).

Données nécessaires à l'estimation des émissions

Pour une estimation selon une méthode ascendante, on a besoin des données suivantes, réparties de façon spatiale et temporelle :

- Superficies brûlées (*disponibles, assorties de réserves*)
- Biomasse (*disponible, assortie de réserves* — modèles et cartes de couverture des sols)
- Exhaustivité de la combustion (très incertaine)
- Facteurs d'émissions (*disponibles, assortis de réserves* — les variations temporelles ne sont pas bien définies)

Données disponibles pour l'estimation des émissions

- Les produits existant à l'échelle mondiale fournissent suffisamment de détails pour le calcul des émissions dues au feu selon une méthode de niveau 1.

- Des évaluations de niveau 2 et 3 sont possibles, mais ne peuvent s'appuyer uniquement sur les produits mondialement disponibles !

Plan du cours

1. Les feux dans l'environnement mondial
2. Surveillance de la combustion de la biomasse pour REDD+
3. Lignes directrices du GIEC pour l'estimation des émissions (CO_2 et non-CO_2) dues aux feux
4. **Surveillance satellitaire du feu**
    - Détection de feux en activité
    - Cartographie de zones brûlées après un feu
5. Produits disponibles pour la télédétection du feu (Global burnt areas JRC, MODIS active fires et burned areas, FIRMS…)
6. Calcul des émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse
7. Sources d'erreurs
8. Autres usages potentiels des données sur les feux à l'appui de REDD+

Produits satellitaires

Feux en activité contre superficies brûlées

Une distinction fondamentale !

Produits satellitaires

- Feux en activité = feux brûlant activement au moment du passage du satellite (exemple : produit MODIS MOD14), détection basée principalement sur l'infrarouge moyen (MIR) et l'infrarouge thermique (TIR).

- Superficies brûlées = zones affectées par le feu dans un intervalle de temps déterminé (exemple : MODIS MCD45, ESA Fire CCI) ; détection à partir du traitement de séries chronologiques de données optiques d'ondes infrarouges proches et infrarouges courtes, en observant les effets du feu sur la végétation.

Quelle relation entre les feux en activité et les superficies brûlées ?

Idéalement, l'accumulation de détections de feux en activité au fil du temps devrait conduire à l'identification de l'ensemble de la superficie brûlée.

En réalité, deux phénomènes doivent être pris en compte :

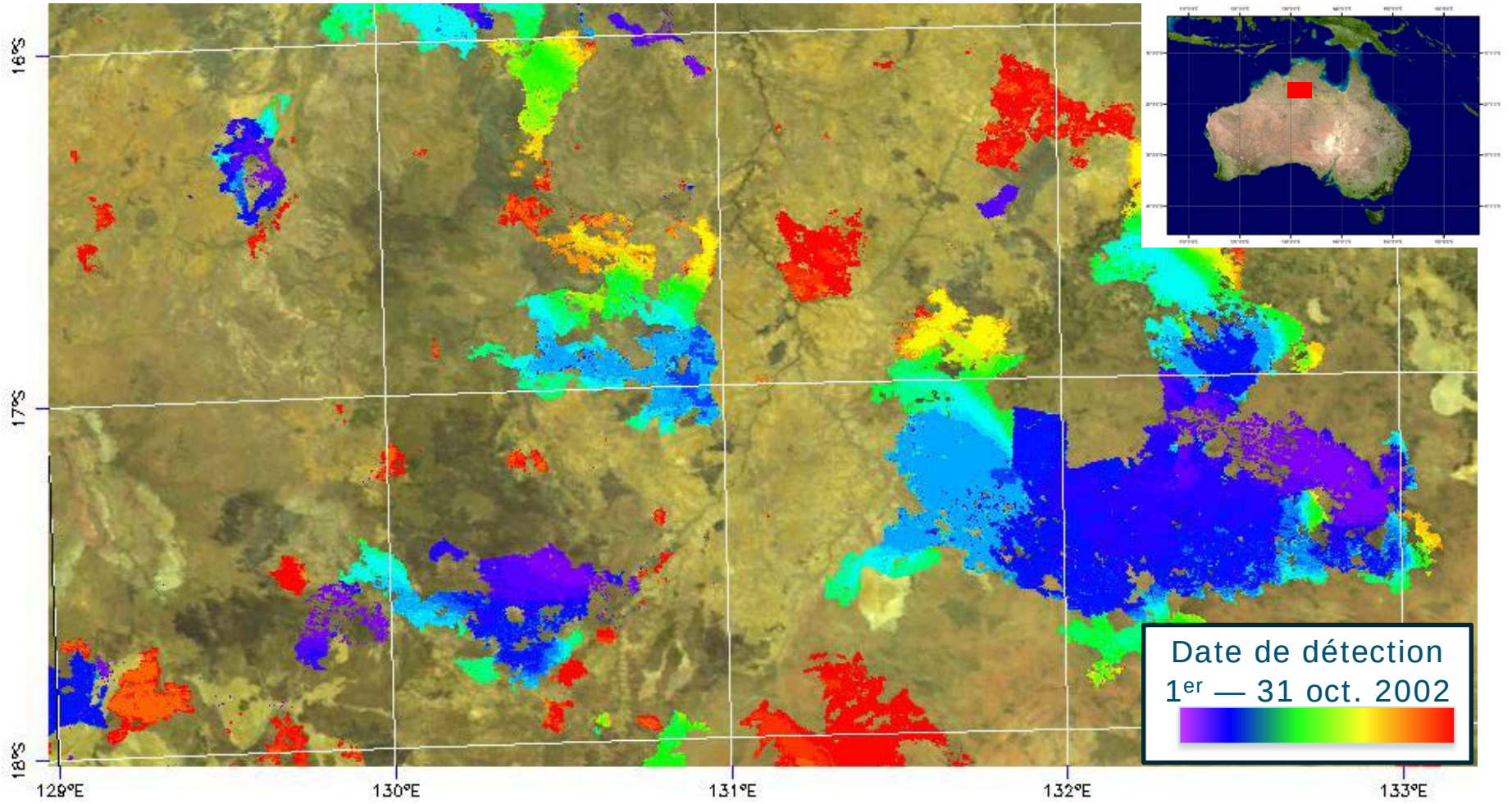
- Les satellites ne peuvent photographier une zone qu'à des intervalles de temps spécifiques (des heures voire des jours) ; également, les nuages et la fumée peuvent masquer la vue et empêcher la détection.
- La résolution spatiale de capteurs thermiques est généralement plus faible que celle de capteurs visibles ou à infrarouge, et de petits feux peuvent susciter une détection :
    - En forêt, ~100 m^2 de flammes suffisent à signaler un feu en activité sur un pixel de tout un $1km^2$

Quelle relation entre les feux en activité et les superficies brûlées ?

Selon la végétation et les caractéristiques du feu, les incendies peuvent se conclure de différentes manières, comme on peut le voir dans les exemples suivants :

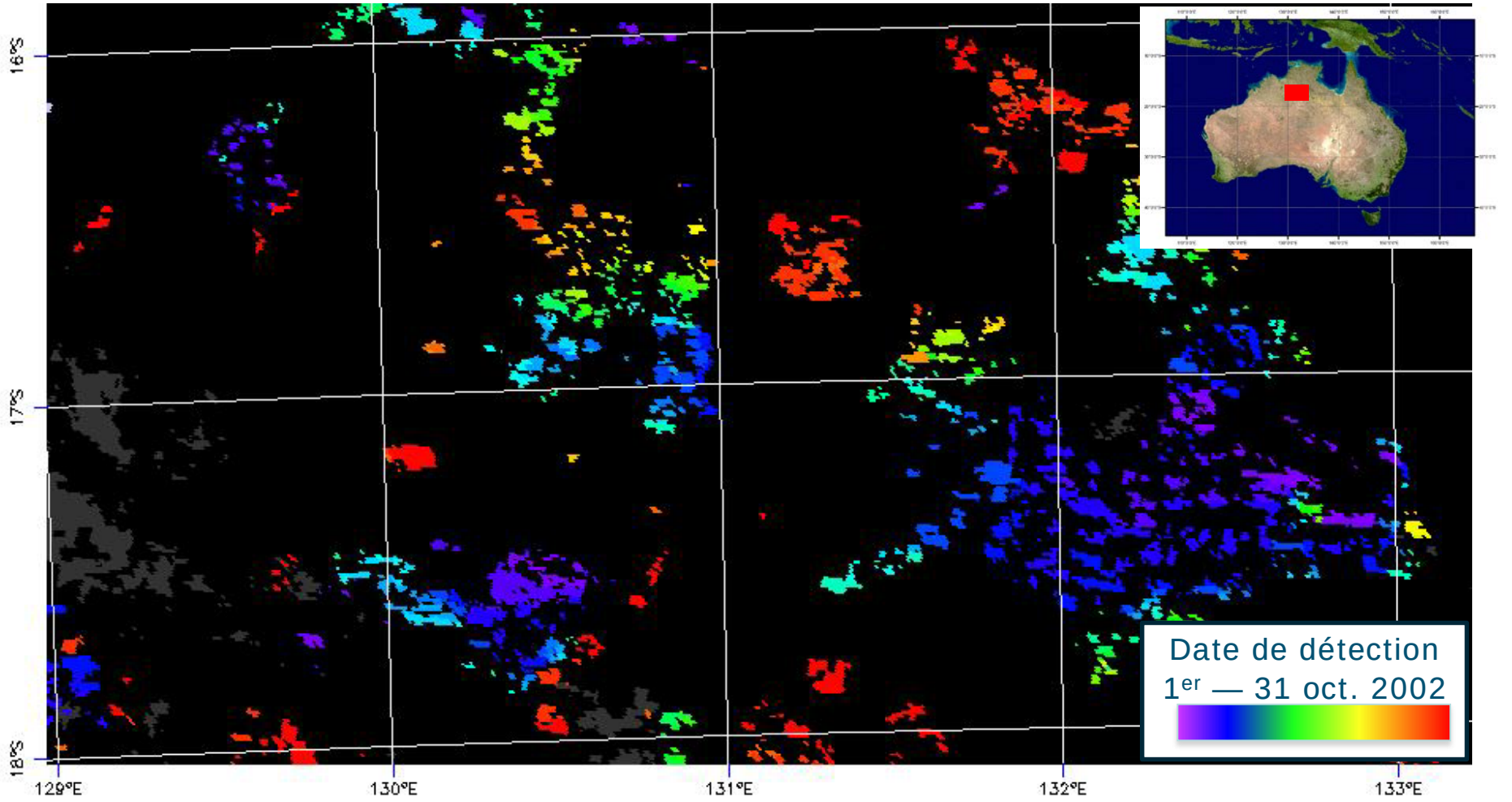
- Dans les savanes, de larges superficies brûlées sont sous-estimées par des produits pour le feu en activité, en raison de l'évolution rapide des fronts d'incendie (Australie par exemple).
- Dans des savanes fragmentées, de petits feux peuvent être détectés comme des feux en activité, mais sont trop faibles pour donner lieu à une détection de zone brûlée (Afrique par exemple).
- Dans des écosystèmes forestiers, les fronts d'incendie se déplacent lentement et sont intégralement saisis par le produit pour le feu en activité, mais il y a surestimation en raison de la taille du pixel (Sibérie par exemple).
- Les feux de défrichage ne donnent pas lieu à une zone brûlée détectable, car le combustible est brûlé en tas ; ils sont en revanche détectés comme des feux en activité (Amazonie par exemple).

Australie : Zones brûlées



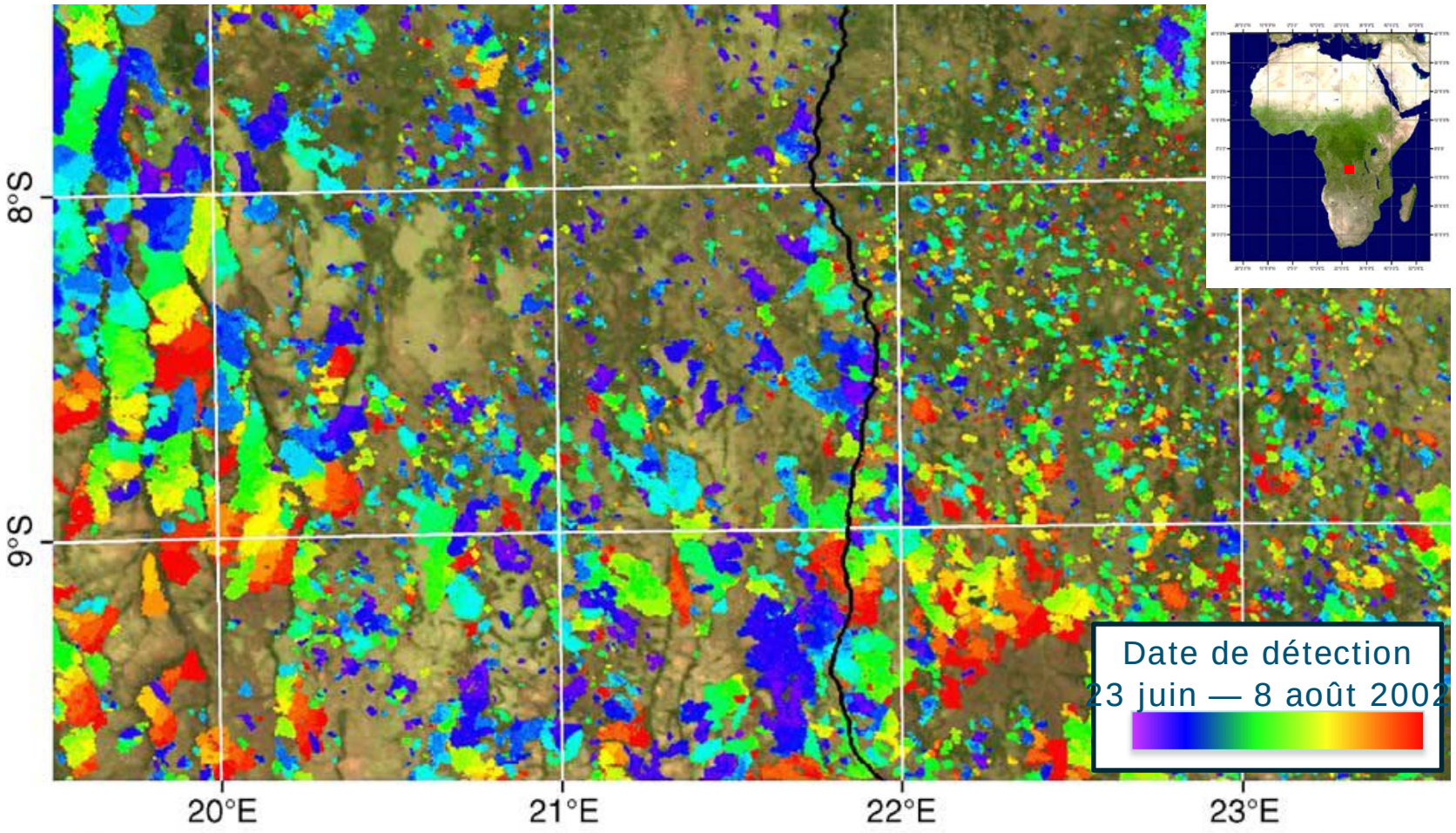
(Roy et al. 2005)

Australie : Feux en activité



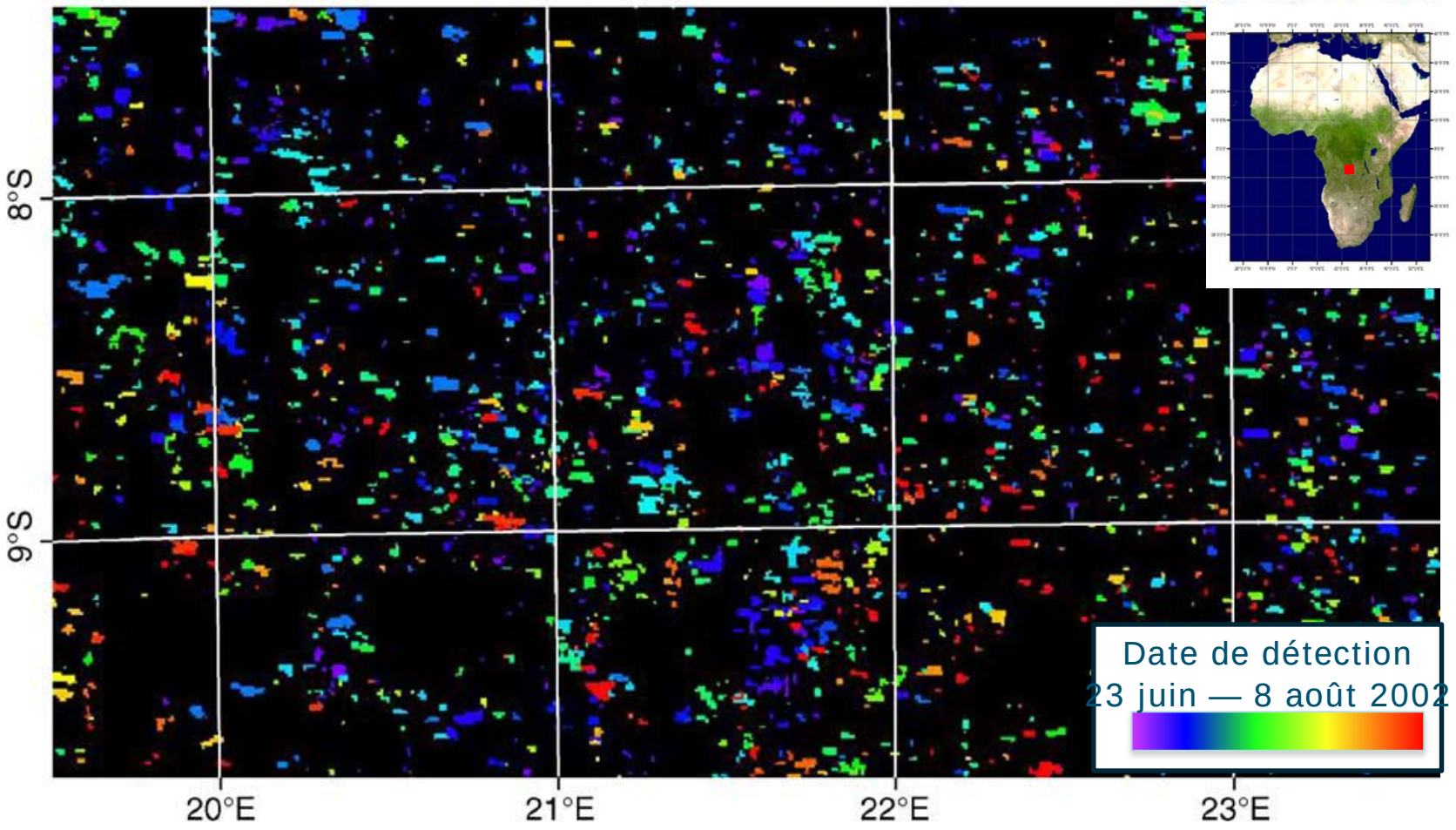
(Roy et al. 2005)

Afrique australe : Zones brûlées



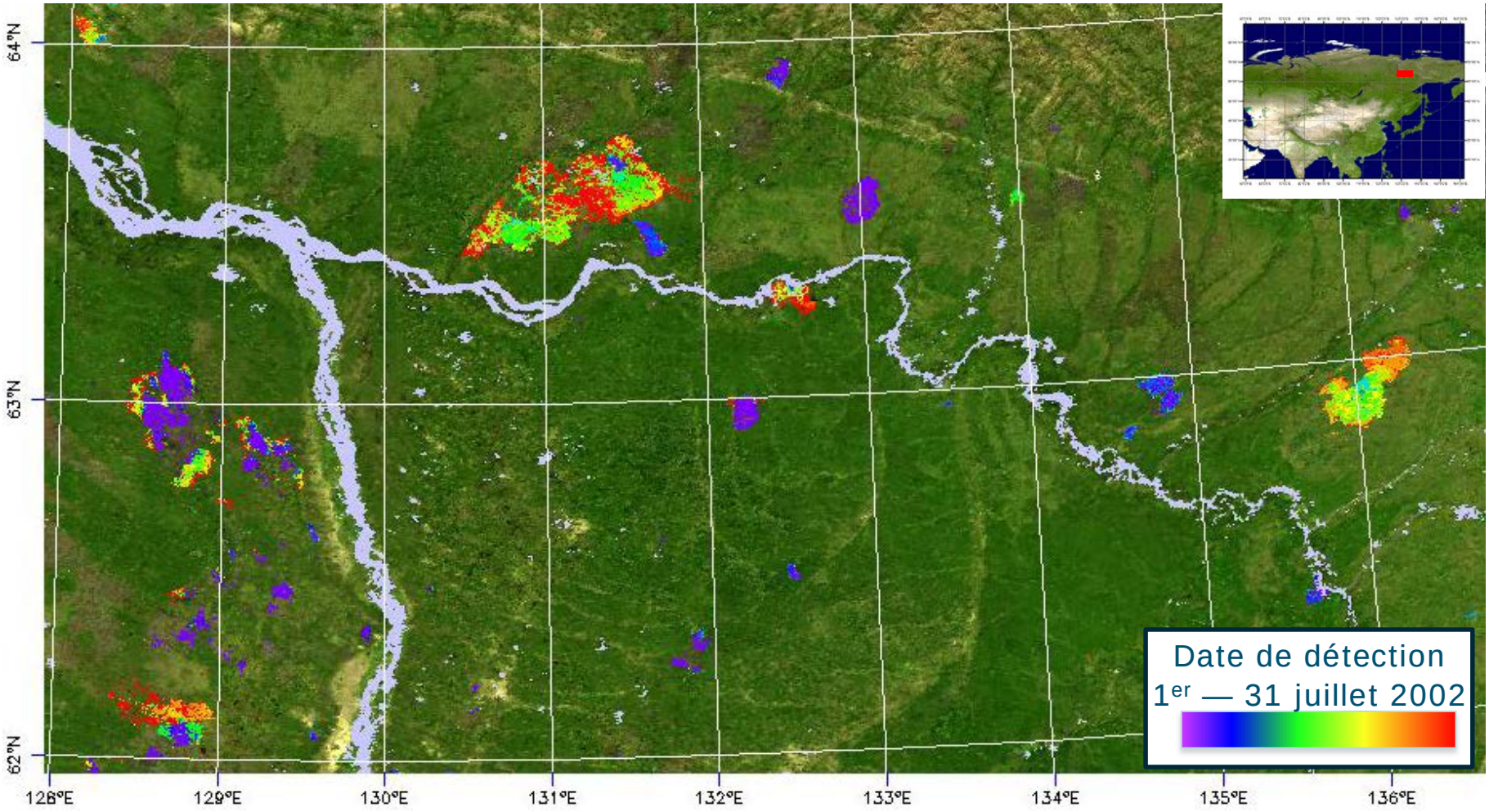
(Roy et al. 2005)

Afrique australe : Feux en activité



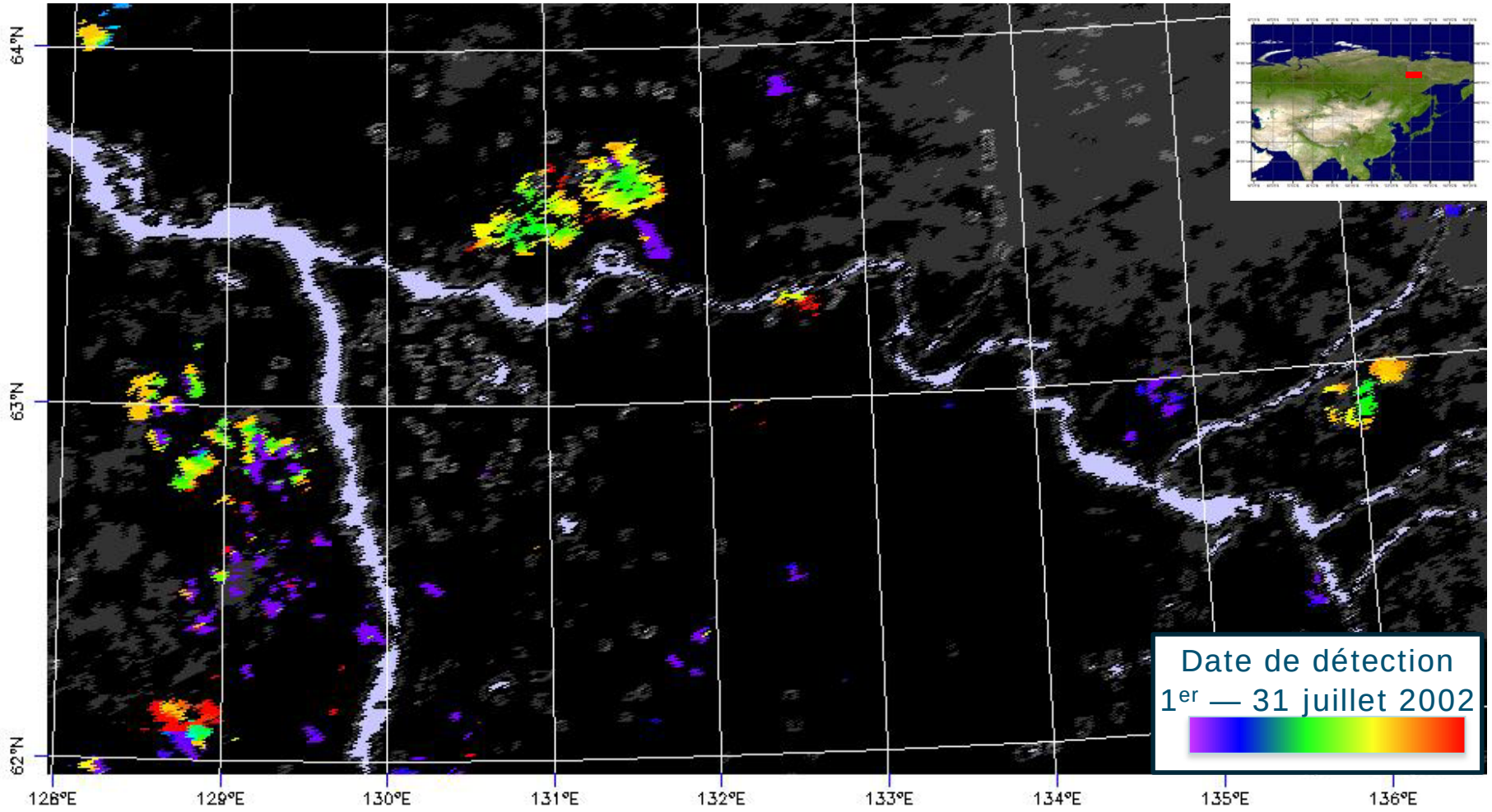
(Roy et al. 2005)

Sibérie : Zones brûlées



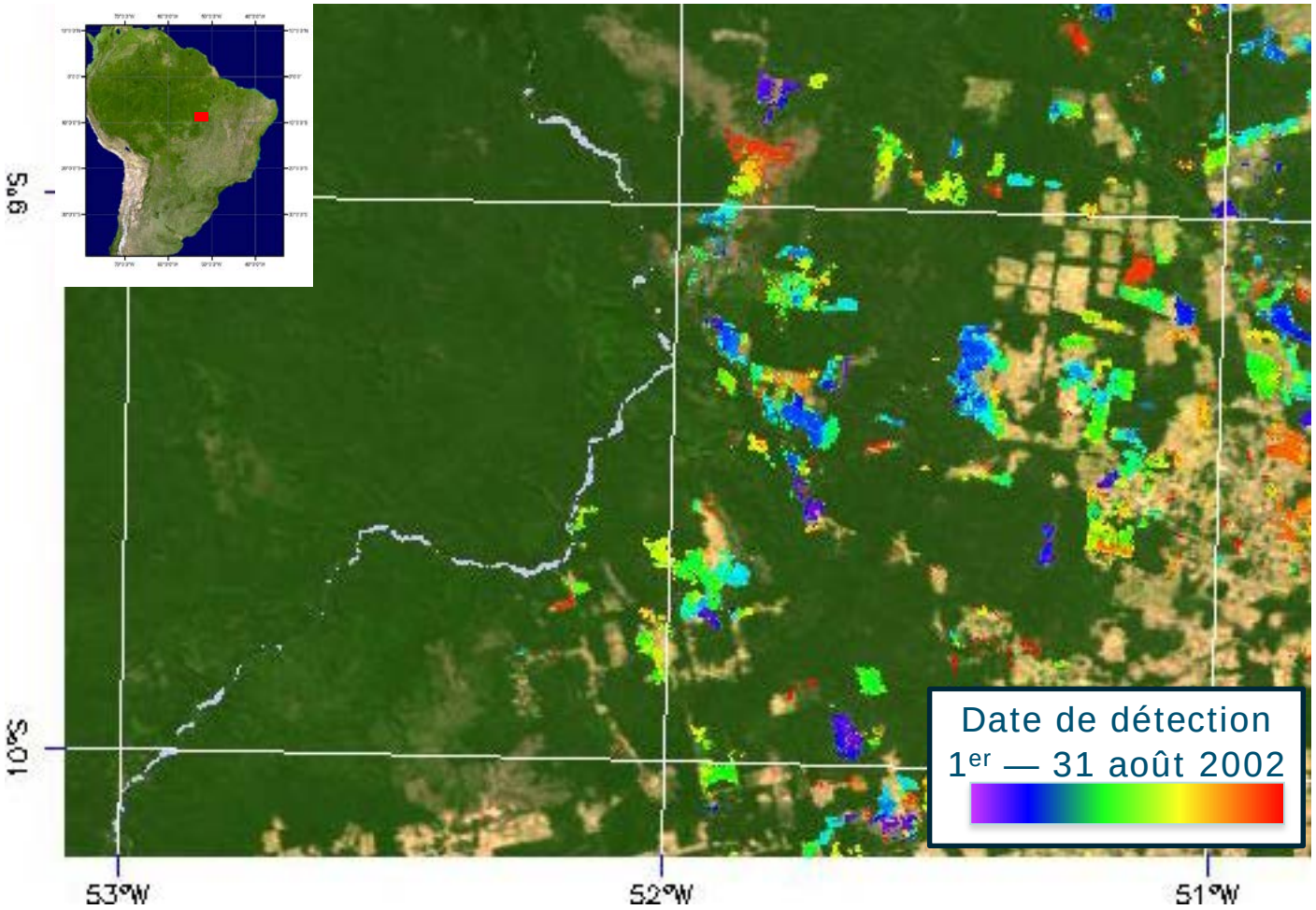
(Roy et al. 2005)

Sibérie : Feux en activité



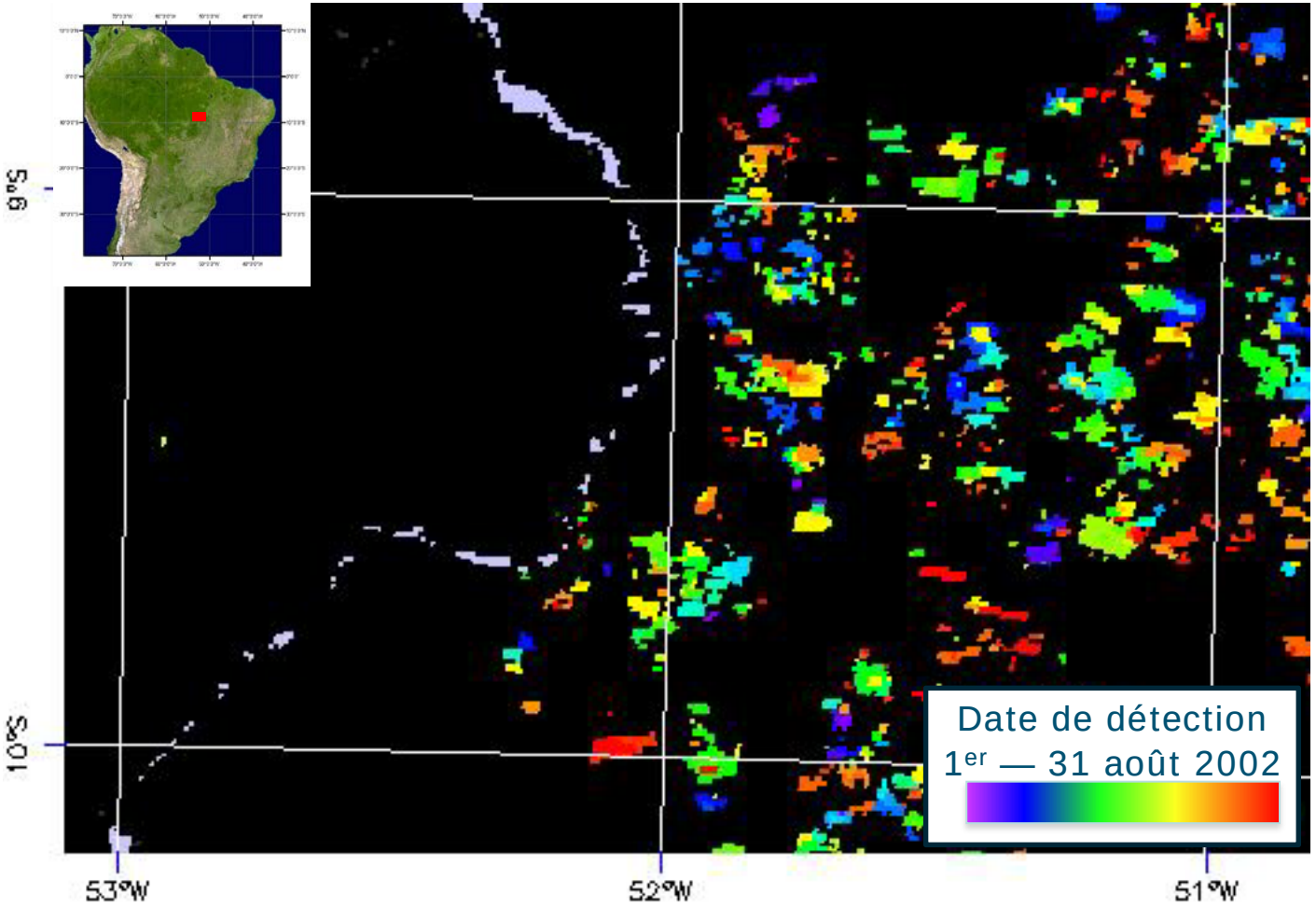
(Roy et al. 2005)

Amazonie : Zones brûlées



(Roy et al. 2005)

Amazonie : Feux en activité



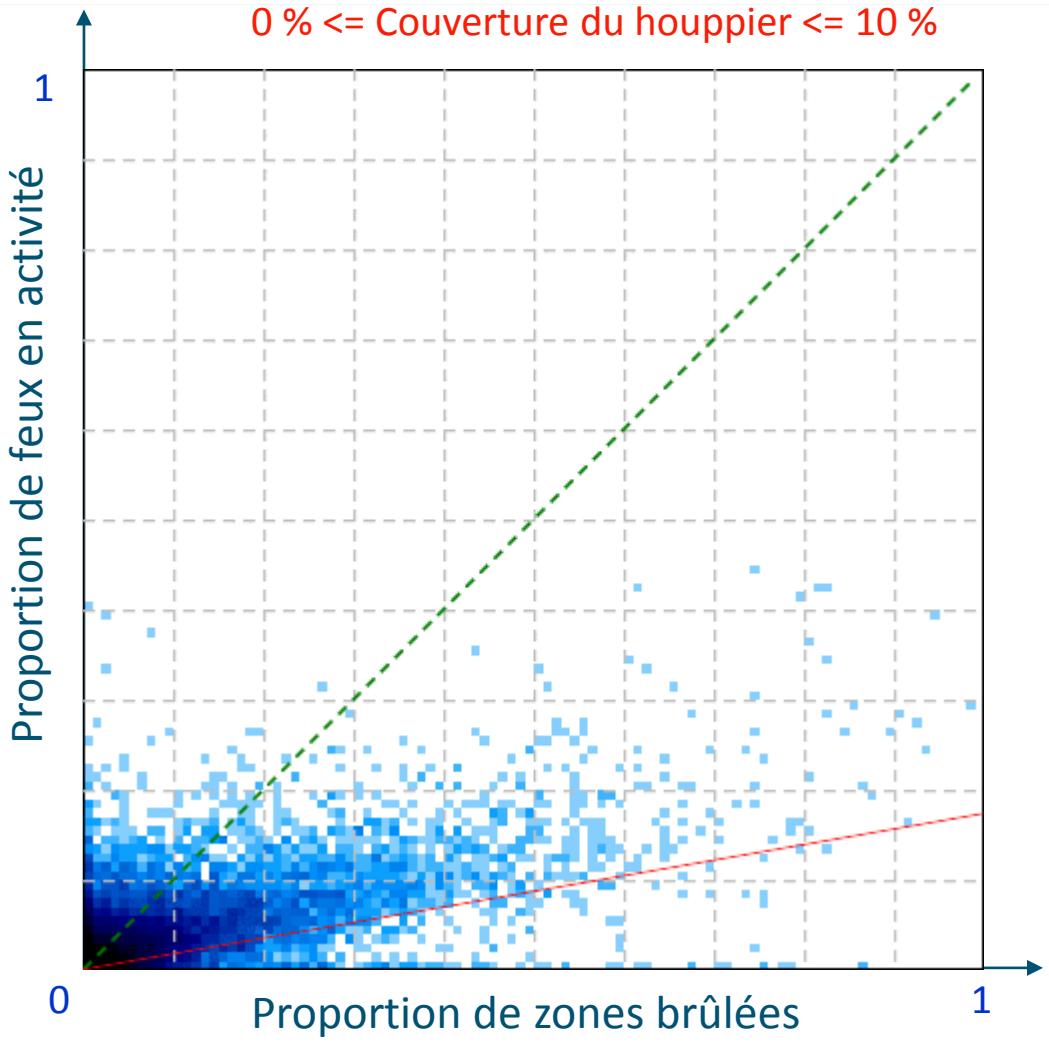
(Roy et al. 2005)

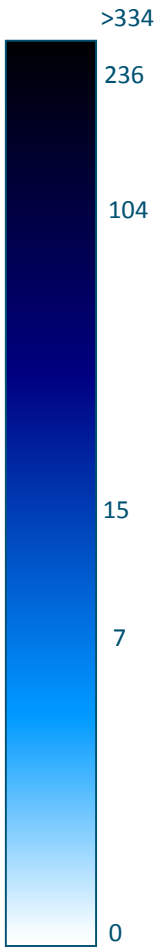
Quelle relation entre les feux en activité et les superficies brûlées ?

- La tendance est confirmée par une comparaison systématique des données mondiales.

- À mesure que le pourcentage de couverture du houppier augmente, **le ratio entre la détection des feux en activité et celle des superficies brûlées évolue**, passant d'un plus grand nombre de détections de zones brûlées que de feux en activité dans les prairies et les savanes, à un plus grand nombre de détections de feux en activité par rapport aux détections de zones brûlées dans des forêts très fermées.

Feux en activité contre zones brûlées dans une savane très ouverte





61 523 cellules

Couverture moyenne du houppier = 3,84 %

Pente = 0,173

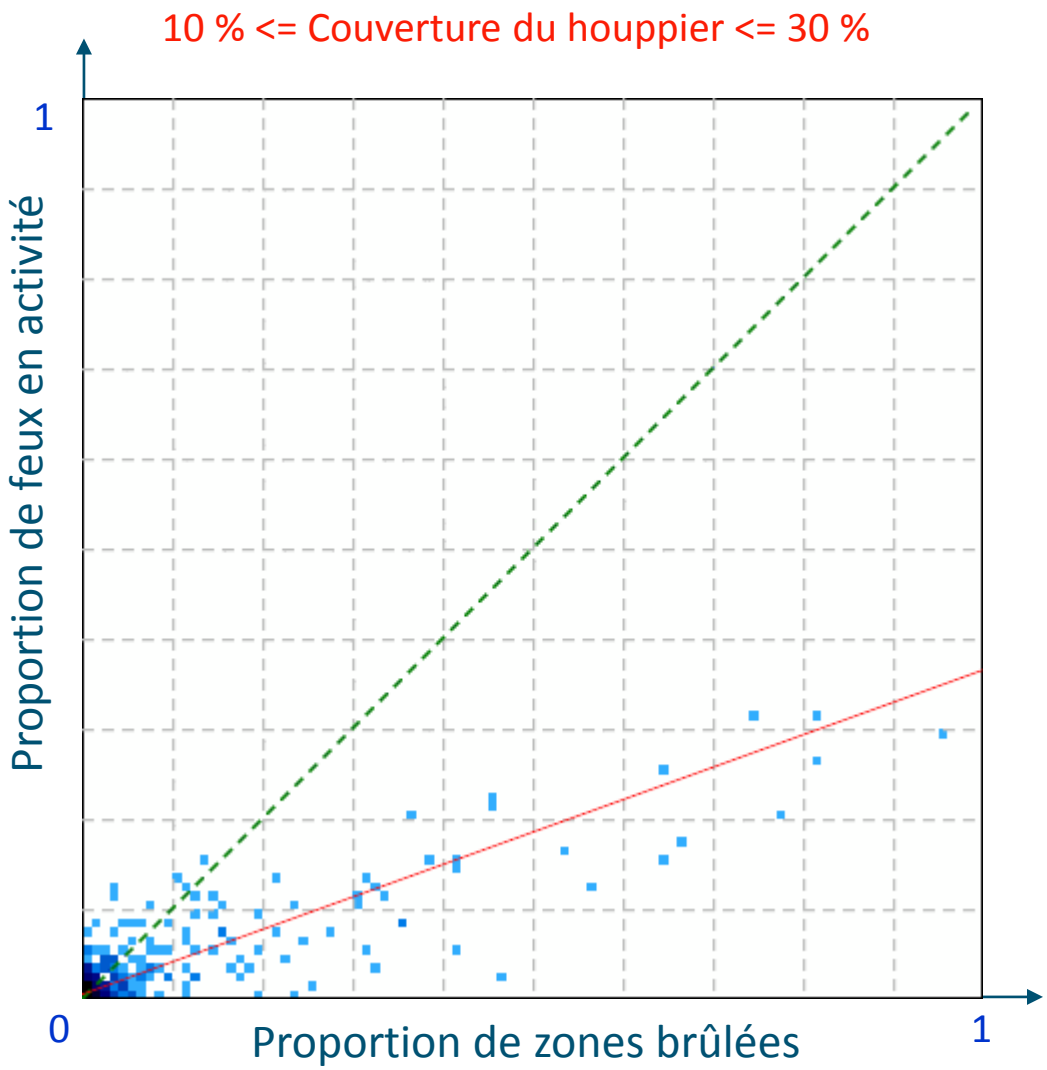
Ordonnée à l'origine = 0,002

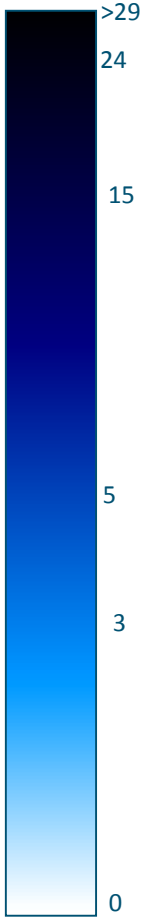
r = 0,71

Échelle mondiale

2001-2002

Feux en activité contre zones brûlées dans une savane fermée





417 cellules

Couverture moyenne du houppier = 22,5 %

Pente = 0,359

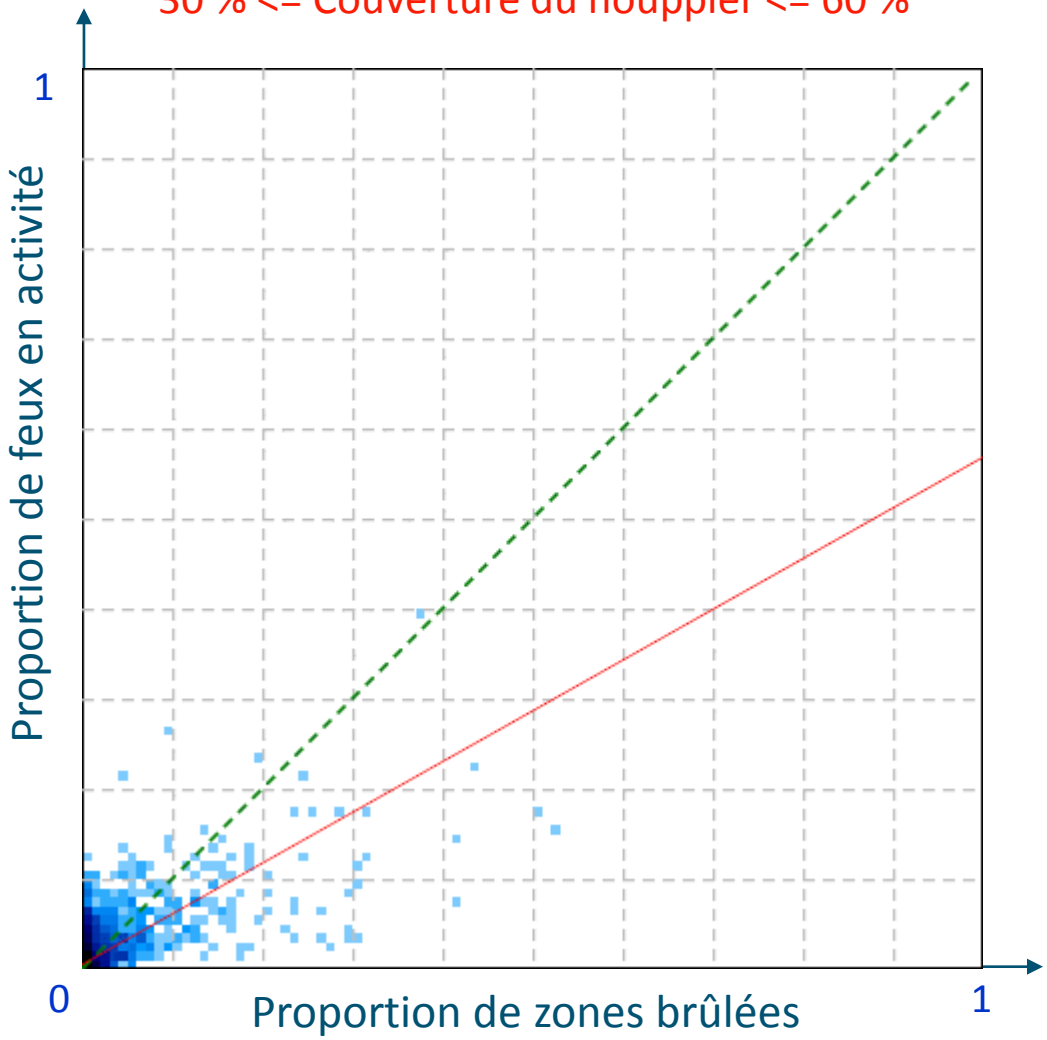
Ordonnée à l'origine = 0,006

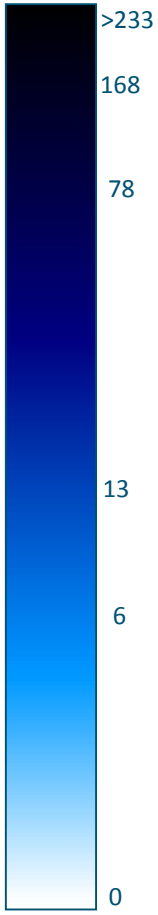
r = 0,87

Échelle mondiale

2001-2002

Feux en activité contre zones brûlées dans une forêt ouverte





2 197 cellules

Couverture moyenne du houppier = 43,2 %

Pente = 0,562

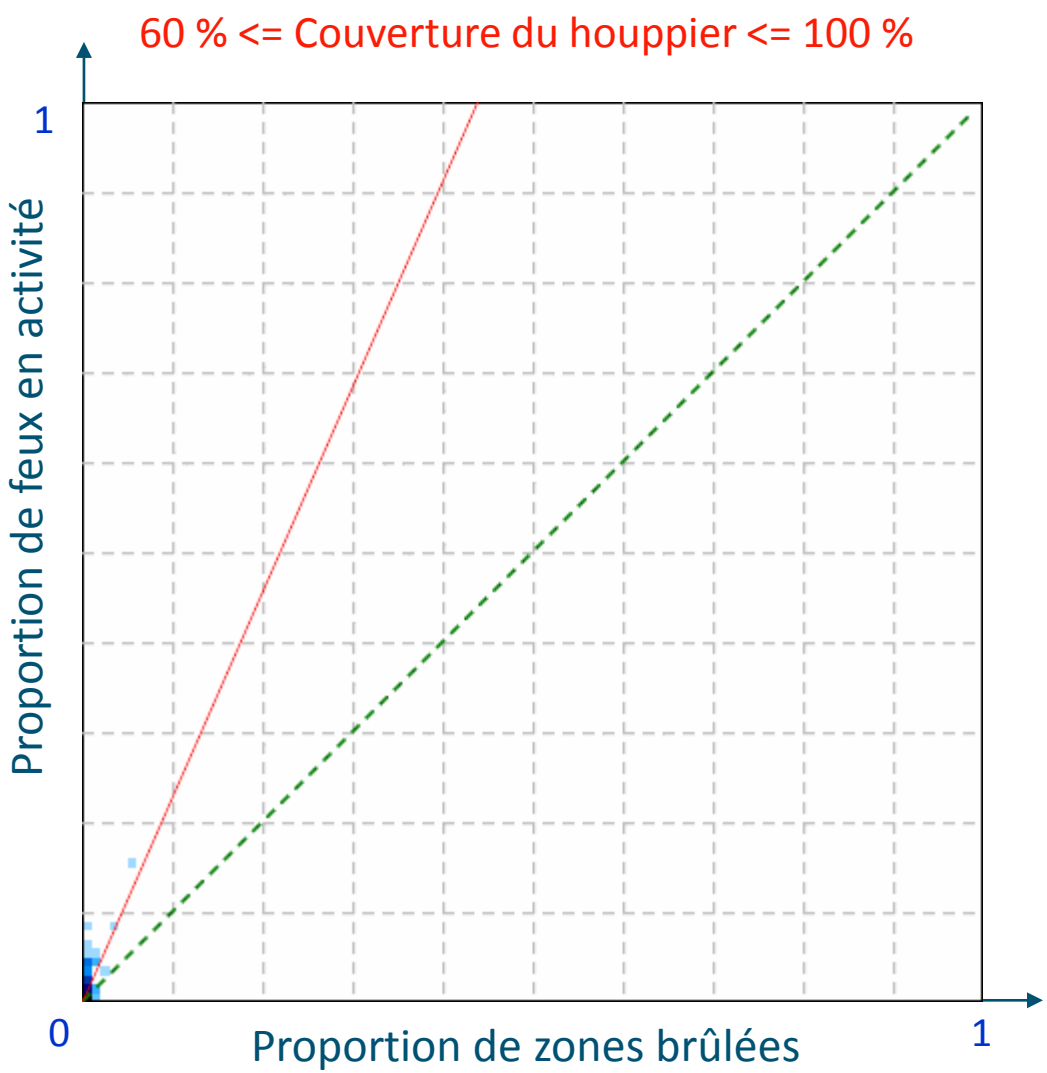
Ordonnée à l'origine = 0,006

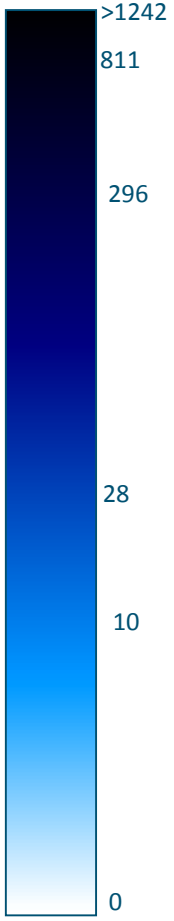
r = 0,65

Échelle mondiale

2001-2002

Feux en activité contre zones brûlées dans une forêt fermée





1 403 cellules

Couverture moyenne du houppier = 76,2 %

Pente = 2,276

Ordonnée à l'origine = 0,002

r = 0,67

Échelle mondiale

2001-2002

Plan du cours

1. Les feux dans l'environnement mondial
2. Surveillance de la combustion de la biomasse pour REDD+
3. Lignes directrices du GIEC pour l'estimation des émissions (CO_2 et non-CO_2) dues aux feux
4. Surveillance satellitaire du feu
    - Détection de feux en activité
    - Cartographie de zones brûlées après un feu
5. **Produits disponibles pour la télédétection du feu (Global burnt areas JRC, MODIS active fires et burned areas, FIRMS...)**
6. Calcul des émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse
7. Sources d'erreurs
8. Autres usages potentiels des données sur les feux à l'appui de REDD+

Données satellitaires

- La nature du feu, qui induit un changement d'affectation des terres temporaire, impose des conditions d'échantillonnage temporel plus strictes que pour d'autres perturbations.
- Capteurs disponibles (arbitrage entre résolution spatiale et temporelle) :
  - Hyperspatiale : pixel de 1 mètre–10 mètres, données disponibles sporadiquement
  - Modérée/haute : 10 mètres–30 mètres, données disponibles hebdomadairement/mensuellement
  - Grossière : plus de 100 mètres, données disponibles quotidiennement

Produits satellitaires

- Disposons-nous de données présentant le degré d'exactitude nécessaire, comme une cartographie du recul des forêts à ~ 1ha?

  - Il existe une multitude de produits systématiques pour le feu, mais aucun ne présente pour l'heure une résolution spatiale suffisante (sans parler de validation).
  - Quelques systèmes de cartographie à haute résolution existent (par exemple les cartes à l'échelle Landsat basées sur ESA dans la Méditerranée, EFFIS, MTBS), mais ceux-ci ne sont pas systématisés et ne sont pas présents dans de nombreux pays qui en auraient pourtant besoin.

Produits satellitaires (1/2)

- Liste actualisée de produits mondiaux et régionaux

Équipe du GOFC chargée de la surveillance et de la cartographie du feu. http://gofc-fire.umd.edu

- Produits pour les feux en activité

MODIS active fires (Université du Maryland / NASA / NOAA) 2000–ce jour
http://modis-fire.umd.edu (informations sur le produit)

http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/ (visualisation et distribution web-SIG en temps réel)

VIIRS active fires (Université du Maryland / NASA / NOAA) 2012–ce jour

http://viirsfire.geog.umd.edu

GOES WF-ABBA (Université du Wisconsin / NOAA) 2000–ce jour
http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/burn/wfabba.html
Meteosat deuxième génération (Eumetsat) 2004–ce jour

http://landsaf.meteo.pt/

TRMM VIRS fire product (NASA) 1998–2005
ftp://disc2.nascom.nasa.gov/data/TRMM/VIRS_Fire/data/
World Fire Atlas (ESA) 1997–2012
http://due.esrin.esa.int/wfa/

Produits satellitaires (2/2)

- Produits pour les superficies brûlées

  MODIS burned areas (Univ. du Maryland / Univ. de l'État du Dakota du Sud/ Univ. de l'Idaho / NASA) **2000-ce jour**

  http://modis-fire.umd.edu/

  L3JRC (Centre commun de recherche de la CE) 1998-2007

  http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/burnt_areas_L3JRC/GlobalBurntAreas2000-2007.php

  Fire CCI (University d'Alcala, ESA) en préparation, 2006-2008 actuellement

  http://www.esa-fire-cci.org

- Émissions

  Global Fire Emissions Database (GFED3) — données pluriannuelles sur les superficies brûlées et les émissions 1997-ce jour

  http://ess1.ess.uci.edu/%7Ejranders/data/GFED3/

  MACC-II (Monitoring Atmospheric Composition and Climate). Analyses du feu et estimations des émissions dues aux feux à l'échelle mondiale. 2003-ce jour

  http://www.gmes-atmosphere.eu/about/

Cartographie du feu à l'aide de données à haute résolution

- C'est la procédure standard de production de séries de données de validation pour des produits de résolution grossière.
- La classification des images et la numérisation à l'écran nécessitent du personnel ayant une formation minimale.
  → Très exacte, mais prend du temps — prohibitive pour une cartographie systématique à l'échelle du pays
- Il existe des projets expérimentaux pour la cartographie systématique à une échelle de 30 m ; aucune couverture mondiale n'est disponible à l'heure actuelle.

Interprétation visuelle d'images à haute résolution

- Protocole standard: cartographie des différences entre deux acquisitions consécutives
- Largement utilisée pour l'évaluation du degré d'exactitude et d'incertitude des produits systématiques
- Elle peut être efficace du point de vue du coût si elle cible des zones sélectionnées pour l'évaluation après-feu d'évènements d'une importance particulière

Plan du cours

1. Les feux dans l'environnement mondial
2. Surveillance de la combustion de la biomasse pour REDD+
3. Lignes directrices du GIEC pour l'estimation des émissions (CO_2 et non-CO_2) dues aux feux
4. Surveillance satellitaire du feu
    - Détection de feux en activité
    - Cartographie de zones brûlées après un feu
5. Produits disponibles pour la télédétection du feu (Global burnt areas JRC, MODIS active fires et burned areas, FIRMS…)
6. **Calcul des émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse**
7. Sources d'erreurs
8. Autres usages potentiels des données sur les feux à l'appui de REDD+

Estimation des émissions par le GIEC

Revenons à l'approche ascendante du GIEC :

$$Lfeu = A \times Mb \times Cf \times Gfe$$

L = émission pour chaque gaz

A = superficie brûlée

Mb = masse de combustible

Cf = facteur de combustion

Gfe = quantité de gaz libéré par unité de biomasse consumée par le feu

Application de l'approche ascendante

L'approche ascendante est linéaire et peut être appliquée facilement dans un environnement SIG :

$$Lfeu_i = A_i \times Mb_i \times Cf_i \times Gfe_i$$

où :

i est un pixel générique de la superficie brûlée, Ai est la superficie du pixel, et Mb_i , Cf_i , Gfe_i représentent la densité de la biomasse, le facteur de combustion et les coefficients d'émission pour ce site.

Méthode de calcul des émissions de niveau 1

Une méthode simple de niveau 1 peut être appliquée en utilisant :

- la superficie brûlée obtenue à l'aide de produits satellitaires
- des valeurs tabulaires tirées des lignes directrices du GIEC, stratifiées par catégorie d'affectation des terres pour :
  - la biomasse (GIEC 2014, tableau 2.4)
  - l'exhaustivité de la combustion (tableau 2.6)
  - les facteurs d'émissions (tableau 2.5)
- Un exemple de calcul par étape est fourni dans la section d'exercice jointe au présent module

Plan du cours

1. Les feux dans l'environnement mondial
2. Surveillance de la combustion de la biomasse pour REDD+
3. Lignes directrices du GIEC pour l'estimation des émissions (CO_2 et non-CO_2) dues aux feux
4. Surveillance satellitaire du feu
    - Détection de feux en activité
    - Cartographie de zones brûlées après un feu
5. Produits disponibles pour la télédétection du feu (Global burnt areas JRC, MODIS active fires et burned areas, FIRMS…)
6. Calcul des émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse
7. **Sources d'erreurs**
8. Autres usages potentiels des données sur les feux à l'appui de REDD+

Sources d'erreurs

Approche ascendante :

$$Lfeu = A \times Mb \times Cf \times Gfe$$

- Tous les termes de l'équation sont affectés d'erreurs.
- Les séries de données satellitaires ont grandement diminué les incertitudes concernant les estimations des superficies brûlées à l'échelle mondiale, tandis qu'à l'échelon local, on rapporte jusqu'à 50 % d'erreurs.
- La densité de biomasse et les facteurs de combustion sont aussi mal définis dans la littérature.
- Les tableaux de facteurs d'émissions compilés à partir d'études antérieures ne tiennent souvent pas compte de variations saisonnières.

Déroulement d'une évaluation du niveau 1

Déroulement potentiel d'une évaluation du niveau 1 :

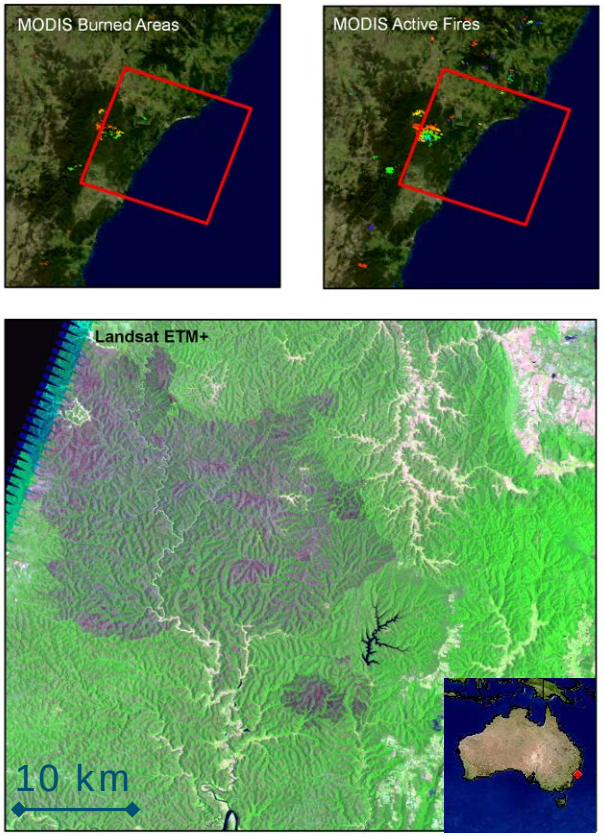
- Évaluer l'exactitude des séries de données mondiales disponibles pour la zone d'intérêt, en les comparant à des données Landsat gratuites.
- Utiliser dans la mesure du possible les données tirées d'études de terrain pour construire un tableau local de la densité de la biomasse pour la zone d'intérêt, au lieu des valeurs de référence du GIEC (2006), tableau 2.4.
- Utiliser les valeurs de référence pour les facteurs de combustion et les facteurs d'émissions.

Plan du cours

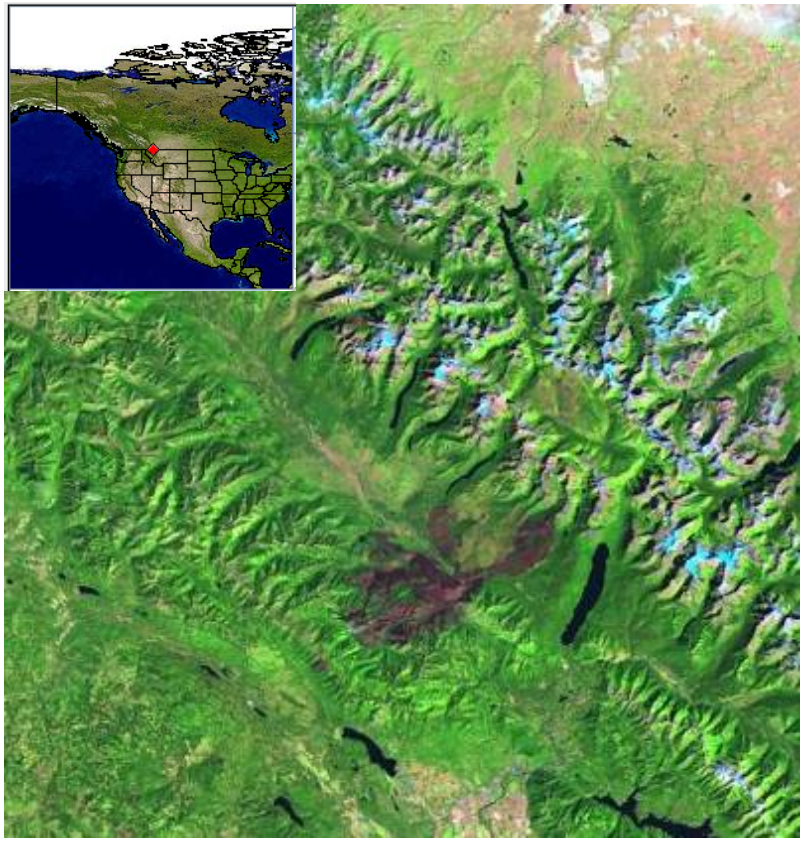
1. Les feux dans l'environnement mondial
2. Surveillance de la combustion de la biomasse pour REDD+
3. Lignes directrices du GIEC pour l'estimation des émissions (CO_2 et non-CO_2) dues aux feux
4. Surveillance satellitaire du feu
    - Détection de feux en activité
    - Cartographie de zones brûlées après un feu
5. Produits disponibles pour la télédétection du feu (Global burnt areas JRC, MODIS active fires et burned areas, FIRMS…)
6. Calcul des émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse
7. Sources d'erreurs
8. **Autres usages potentiels des données sur les feux à l'appui de REDD+**

Utilisation de produits du feu pour la détection de points chauds

- Identifier des zones dans lesquelles des feux de forêt se produisent, afin d'orienter l'acquisition d'images à haute résolution.
- L'utilisation d'images à haute résolution permet d'obtenir des cartes plus fines.



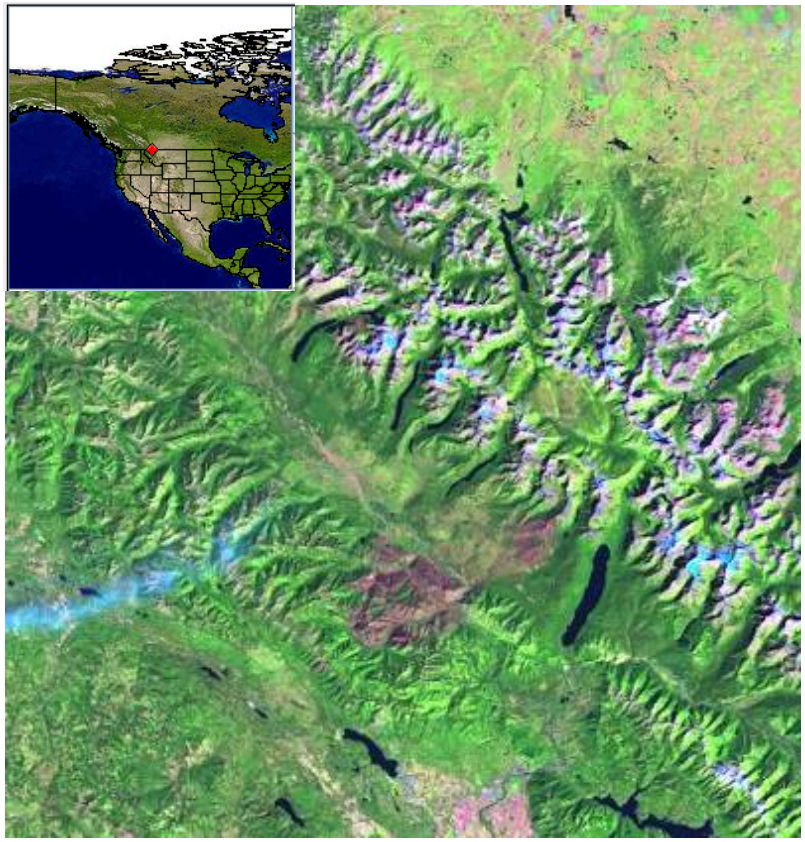
Données satellitaires pour une caractérisation d'après-feu



2001

Conversion de la forêt à un autre usage après un feu ?

Données satellitaires pour une caractérisation d'après-feu

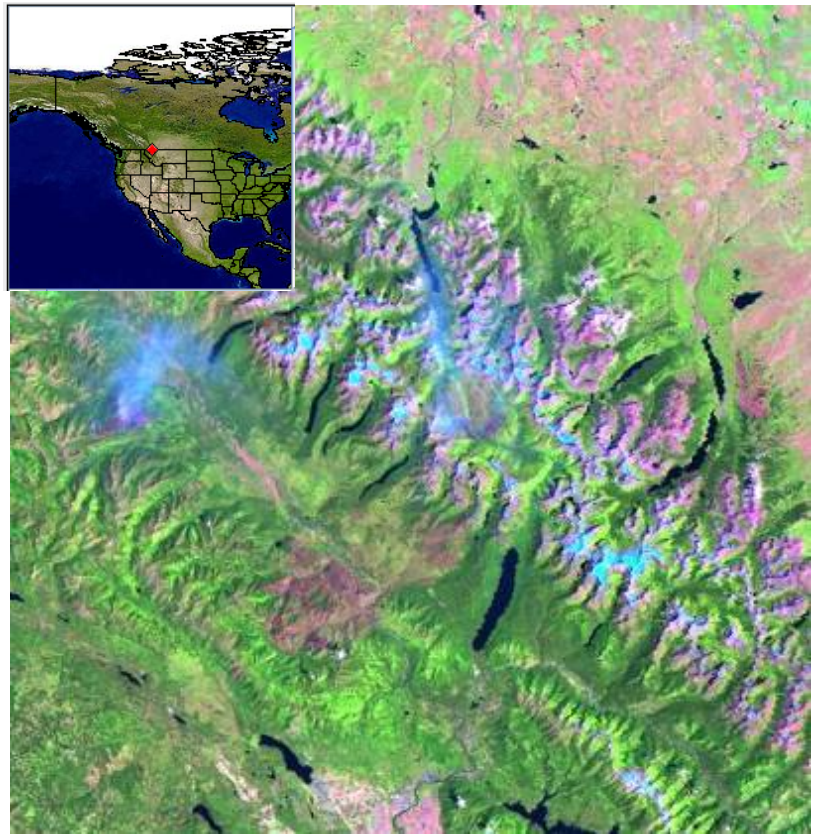


2002

Conversion de la forêt à un autre usage après un feu ?

Un an plus tard : no.

Données satellitaires pour une caractérisation d'après-feu



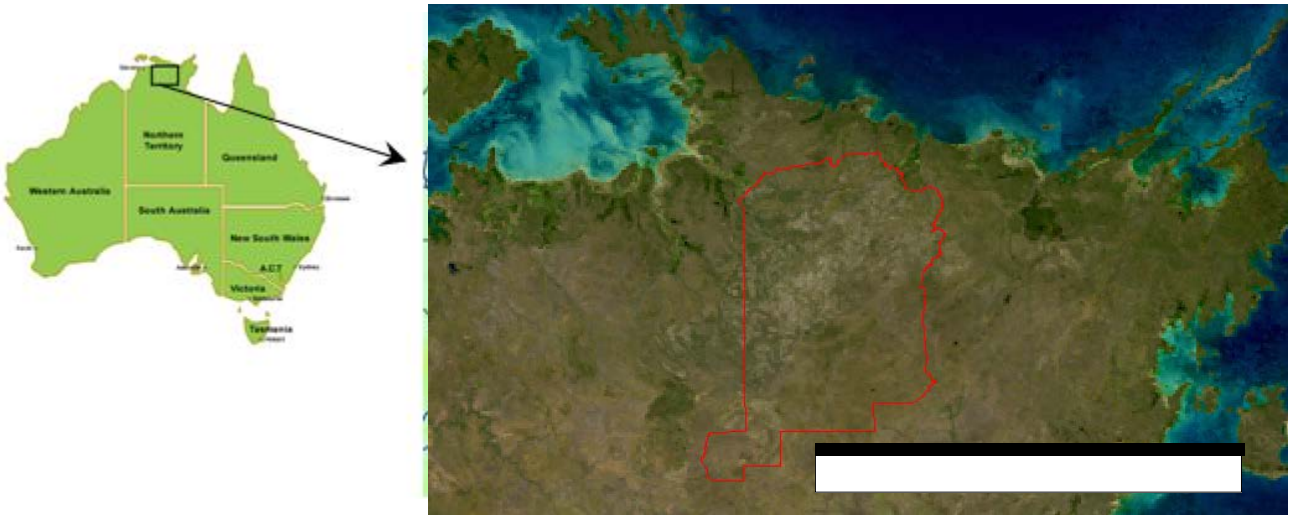
2003

Conversion de la forêt à un autre usage après un feu ?

Un an plus tard : no.
Deux ans plus tard : no.

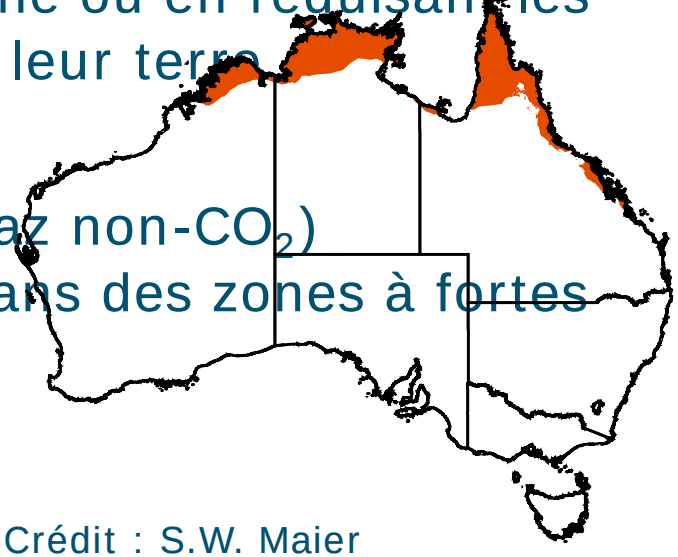
Gestion du feu

- Qu'est-ce que la forêt ? Savane arborée, dont le houppier couvre 10 à 30 % de la surface
- Changement du total annuel des émissions en gérant le feu et en modifiant le cycle saisonnier de ce dernier (feux précoces contre feux tardifs)
- Exemple : WALFA dans le nord de l'Australie



Carbon farming initiative (CFI)

- L'Australie a fixé un prix pour le carbone le 1er juillet 2012 (23 dollars australiens la tonne de CO_{2e} pour 2012/13).
- L'initiative de culture du carbone (CFI) permet aux agriculteurs et aux exploitants des terres de gagner des crédits carbone en stockant du carbone ou en réduisant les émissions de gaz à effet de serre sur leur terre.
- CFI inclut une méthodologie de comptabilisation des émissions (de gaz non-CO_2) provenant du brûlage de la savane dans des zones à fortes précipitations (>1000 mm/a).



Crédit : S.W. Maier

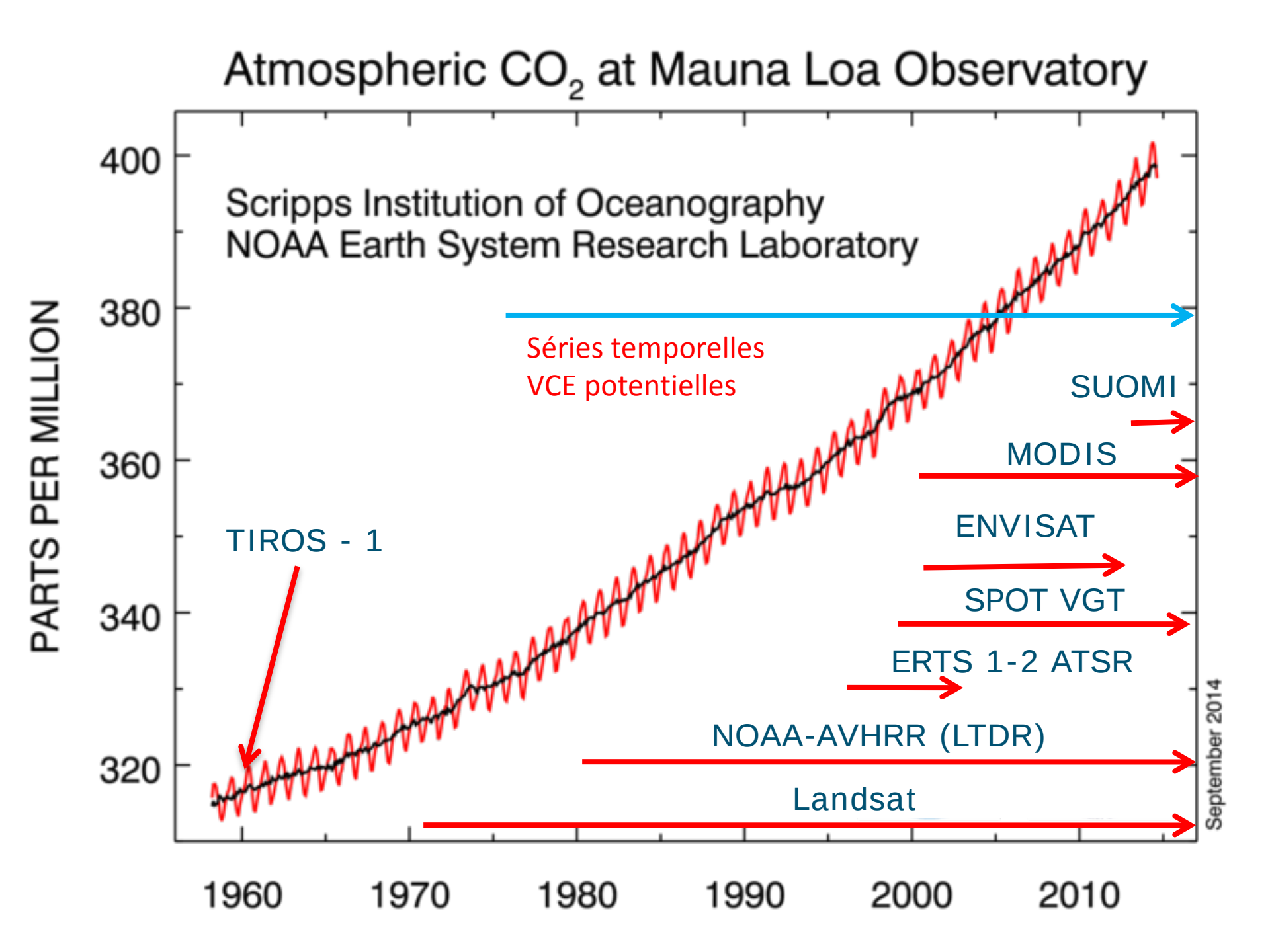
Méthodologie de brûlage de la savane (>1000 mm/a)

Objectif : Réduire les émissions par brûlage contrôlé en début de saison sèche

- Carte de type de végétation ≤ 250 m
- 5 années de données préliminaires de base pour la superficie brûlée ≤ 1 km
- 10 années de données préliminaires de base pour la superficie brûlée ≤ 1 km
- Superficie brûlée durant les années du projet ≤ 250 m
- Exactitude de la superficie brûlée > 80 %, évaluée à partir d'observations aériennes (aléatoires)
- Masse de combustible générée depuis le dernier feu
- Exhaustivité de la combustion (début contre fin de saison sèche)
- Les facteurs d'émissions dépendent uniquement du type de combustible, pas de la saison (Maier et al. 2012)

Conservation à long terme des données

- Variables climatiques essentielles, définies par le SMOC (sous l'OMM)
- Intégration de sources de données existantes
- Étalonnage comparatif de produits thématiques existants
- Coopération internationale pour l'harmonisation de futurs produits
- Potentiel pour une série commençant en 1980, comprenant des fichiers de données locales de test basés sur des données Landsat datant des années 1970


Atmospheric CO_2 at Mauna Loa Observatory
Scripps Institution of Oceanography
NOAA Earth System Research Laboratory
PARTS PER MILLION
400
380
360
340
320
1960
1970
1980
1990
2000
2010
Séries temporelles
VCE potentielles
TIROS - 1
SUOMI
MODIS
ENVISAT
SPOT VGT
ERTS 1-2 ATSR
NOAA-AVHRR (LTDR)
Landsat
September 2014

Conservation à long terme des données

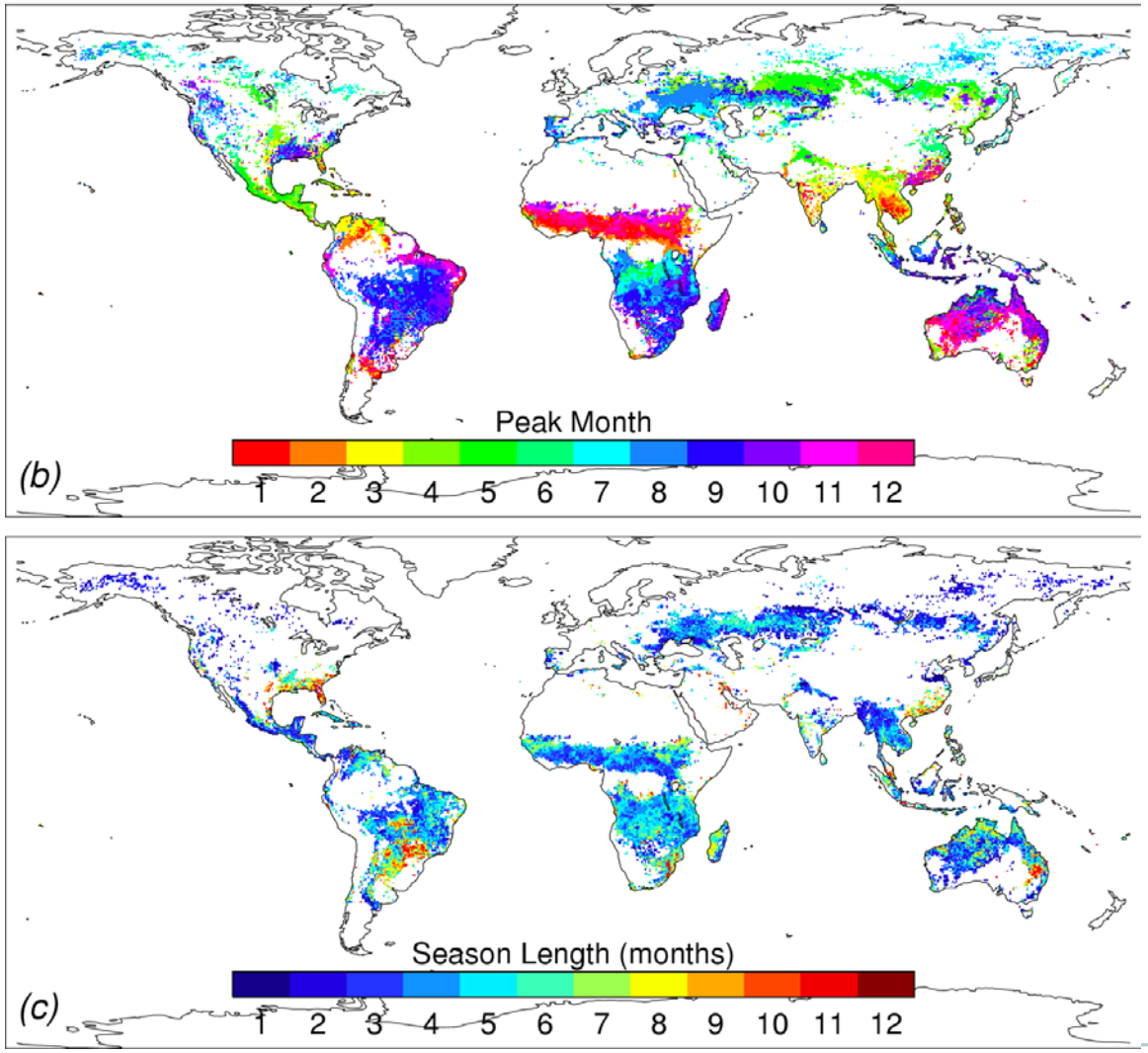
Les VCE sont capitales pour répondre à la question scientifique fondamentale de la base de référence de l'activité du feu :

- Évaluation du feu aux niveaux mondial, continental et national
- Analyse de la variabilité pluriannuelle des régimes de feu

Principale problématique : travail nécessaire pour l'étalonnage et la validation des produits

Luigi Boschetti et David Roy, 2008

Champs climatologiques



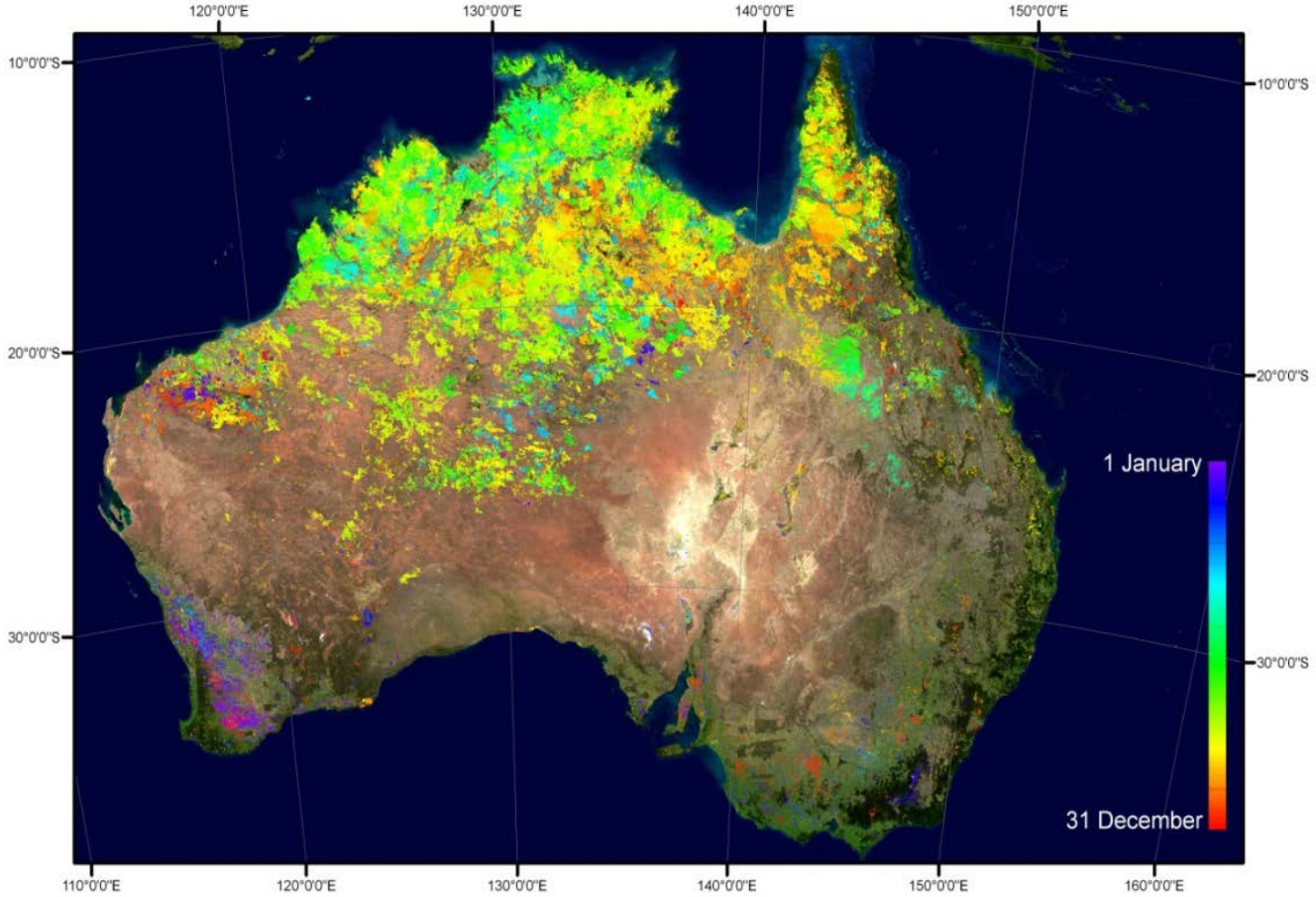
Champs climatologiques dérivés des cinq premières années d'observation du feu par Terra MODIS (novembre 2000 à octobre 2005)

b) Mois d'activité climatologique de feu maximale

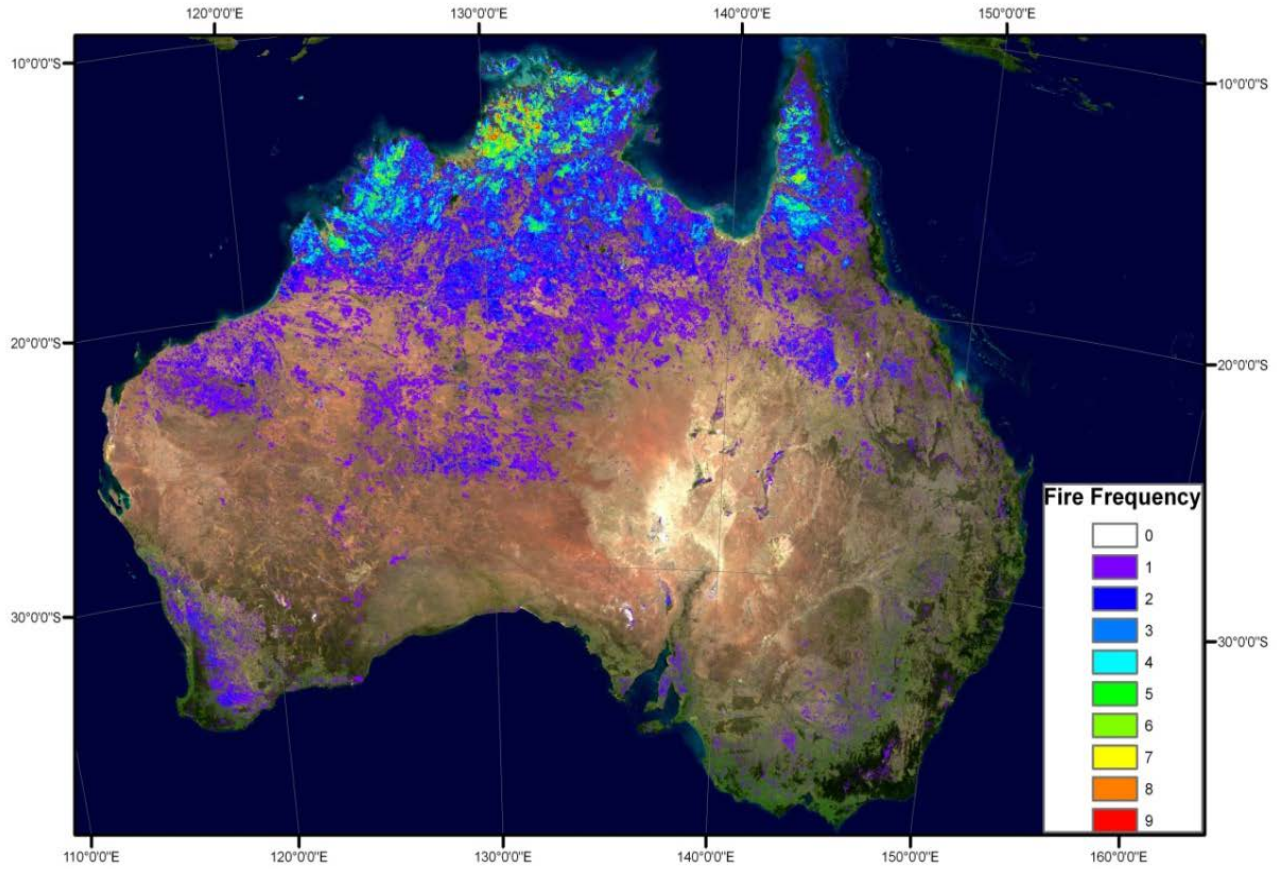
c) Durée de la saison de feux

(Source : Giglio et al. 2006)

Journée médiane d'incendie à partir de huit années de données MODIS sur les superficies brûlées



Fréquence du feu à partir de huit années de données MODIS sur les superficies brûlées



Récapitulatif

- La surveillance des feux nécessite de comprendre le processus du feu dans les systèmes forestiers (soit comme un agent de changement écologique, une perturbation, un outil de gestion forestière ou un processus associé à la conversion des terres)
- Il existe différentes approches et différents objectifs de surveillance des feux dans le contexte de REDD+
  - Avant le feu (systèmes d'alerte rapide)
  - Feu en activité (données satellitaires sur le point chaud)
  - Après le feu (estimations de la superficie brûlée)
- Calcul des émissions provenant de la combustion de la biomasse suivant l'approche ascendante du GIEC : Lfeu = A × Mb × Cf × Gfe (GIEC, 2006, LD AFAT, chapitre 2.4)

Exemples de pays et exercices

Exemples nationaux (régionaux)

- Afrique : Cartes de superficies brûlées et de feux en activité
- Amazonie : Cartes de superficies brûlées et de feux en activité

Exercice

- Utiliser les séries de données disponibles sur le feu pour estimer les émissions de GES provenant de la combustion de la biomasse dans les contextes nationaux du Botswana et du Brésil.

Modules complémentaires recommandés

- Module 2.7 pour un complément d'informations sur l'estimation des incertitudes
- Module 2.8 pour en savoir plus sur l'évolution des technologies de surveillance des modifications des superficies forestières, des stocks de carbone et des émissions
- Modules 3.1 à 3.3 pour en savoir plus sur l'évaluation et la notification dans le contexte de REDD+

Références

- Boschetti, L. and Roy, D. Defining a fire year for reporting and analysis of global interannual fire variability. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences,* 113: G3. DOI: 10.1029/2008JG000686.
- GIEC, 2006. *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*. Volume 4: Agriculture, foresterie et autres affectations des terres. Edité par le Programme des inventaires nationaux de gaz à effet de serre, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. Publié par: IGES, Japon. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html (souvent désignées par LD-AFAT)
- GFOI (Global Forest Observations Initiative). 2014. *Integrating Remote-sensing and Ground-based Observations for Estimation of Emissions and Removals of Greenhouse Gases in Forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative*. (Often GFOI MGD.) Geneva, Switzerland: Group on Earth Observations, version 1.0. http://www.gfoi.org/methods-guidance/.
- Giglio et al. 2006. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 957–974.
- Giglio, L., J. T. Randerson, G. R. van der Werf, P. S. Kasibhatla, G. J. Collatz, D. C. Morton, and R. S. DeFries. 2010. "Assessing Variability and Long-Term Trends in Burned Area by Merging Multiple Satellite Fire Products." *Biogeosciences* 7: 1171–1186. doi:10.5194/bg-7-1171-2010.

- GOFC-Fire Implementation Team Portal. http://gofc-fire.umd.edu/.
- GOFC-GOLD (Global Observation of Forest Cover and Land Dynamics). 2014. *Sourcebook* (*A Sourcebook of Methods and Procedures for Monitoring and Reporting Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions and Removals Associated with Deforestation, Gains and Losses of Carbon Stocks in Forests Remaining Forests, and Forestation*). Netherlands: GOFC-GOLD Land Cover Project Office, Wageningen University. http://www.gofcgold.wur.nl/redd/index.php.
- Korontzi, S., McCarty, J., Loboda, T., Kumar, S. and Justice, C. 2006. Global distribution of agricultural fires in croplands from 3 years of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. *Global Biogeochemical Cycles*, 20. doi: 10.1029/2005GB002529. issn: 0886-6236.
- Meyer, C.P. et al. 2012. Direct measurements of the seasonality of emission factors from savanna fires in northern Australia. *Journal of Geophysical Research*. 117, D20305, doi:10.1029/2012JD017671
- NASA Science Visualization Studio. Visualizations by Lori Perkins on October 18, 2011. Australia Fire Observations and MODIS NDVI http://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=3871
- Roy, D.P., Frost, P., Justice, C., Landmann, T., Le Roux, J., Gumbo, K., Makungwa, S., Dunham, K., Du Toit, R., Mhwandagara, K., Zacarias, A, Tacheba, B., Dube, O., Pereira, J., Mushove, P., Morisette, J., Santhana Vannan, S., Davies, D., 2005, The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned area product validation protocol, International Journal of Remote Sensing, 26:4265-4292.

- Seiler, W. and Crutzen, P. J.: Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and atmosphere from biomass burning, Clim. Change, 2, 207–247, 1980.
- van der Werf, G. R., J. T. Randerson, L. Giglio, G. J. Collatz, M. Mu, P. S. Kasibhatla, D. C. Morton, R. S. DeFries, Y. Jin, and T. T. van Leeuwen. 2010. “Global Fire Emissions and the Contribution of Deforestation, Savanna, Forest, Agricultural, and Peat Fires (1997–2009).” *Atmospheric Chemistry and Physics* 10: 11707–11735. doi:10.5194/acp-10-11707-2010.
- CCNUCC. 2001. Décision II/CP.7. Les Accords de Marrakech.

  http://unfccc.int/resource/docs/french/cop7/cp713a01f.pdf