



HAL
open science

**Dynamique forestière et changements globaux.
Exemples d'application de la télédétection spatiale -
domaine solaire réfléchissant: visible et proche et moyen
infrarouge (450-2500 nm)**

Dominique Guyon

► **To cite this version:**

Dominique Guyon. Dynamique forestière et changements globaux. Exemples d'application de la télédétection spatiale - domaine solaire réfléchissant: visible et proche et moyen infrarouge (450-2500 nm). Le satellite, un outil au service du Grenelle de l'environnement, Atelier Géothématique, Dec 2010, Bordeaux, France. n.p. hal-02813692

HAL Id: hal-02813692

<https://hal.inrae.fr/hal-02813692>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Dynamique forestière et changements globaux

Exemples d'application de la télédétection spatiale

domaine solaire réfléchissant: visible et proche et moyen infrarouge (450-2500 nm)



Dominique Guyon ,
INRA Bordeaux, Unité de Recherche
EPHYSE

*« Le satellite, un outil au service du Grenelle de l'environnement »
Atelier Géothématique, CETE-SO, 9 décembre 2010*

❖ Changements globaux

☐ CLIMAT

Réchauffement

Evènements extrêmes

Régime des pluies et sécheresse

☐ ACTIVITES HUMAINES

Occupation du sol, aménagement du territoire

Itinéraires techniques, systèmes de production

Objectifs socio-économiques, environnementaux,

adaptation des écosystèmes?

→ fonctionnement (carbone, eau)

→ vulnérabilité: dépérissement, incendies, tempête, ...?

→ productivité, durabilité des écosystèmes forestiers?

→ phénologie, indicateur des changements climatiques

→ aires de répartition des essences forestières

→ Itinéraires techniques, systèmes de production?

interactions



❖ Suivi de la dynamique forestière

□ Changements brutaux

/ Réponse directe à un événement

Accidents: incendies, tempêtes, ...

Aménagement/Occupation du sol: déforestation, urbanisation, ...

Sylviculture: coupes

□ Changements progressifs

/ Réponse aux perturbations des conditions
environnementales

durables, transitoires, arrières effets, cumulatifs

tendances long terme: allongement cycle végétation, ...

déséquilibres: dépérissements,

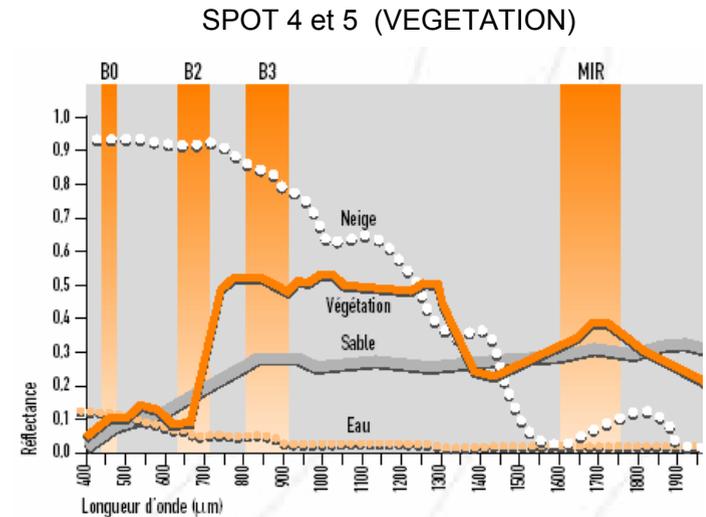
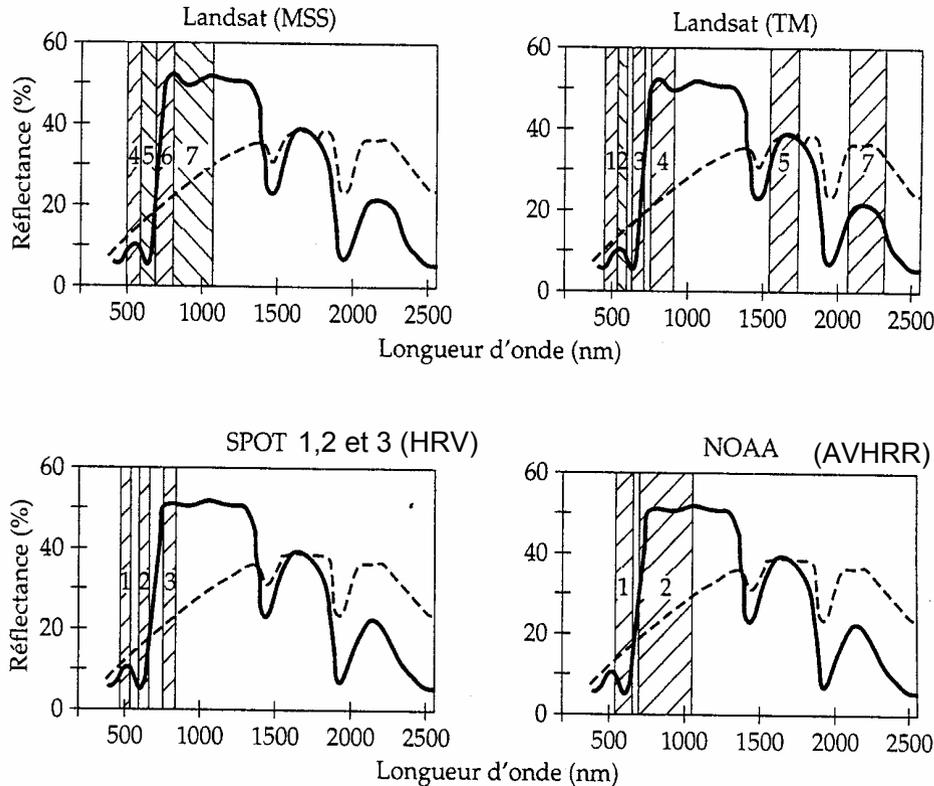
→ détecter, dater, localiser les changements?

→ variations spatiales: locales, régionales, ?

→ variations temporelles: saisonnières, interannuelles,
long terme ?

❖ Données de télédétection utiles

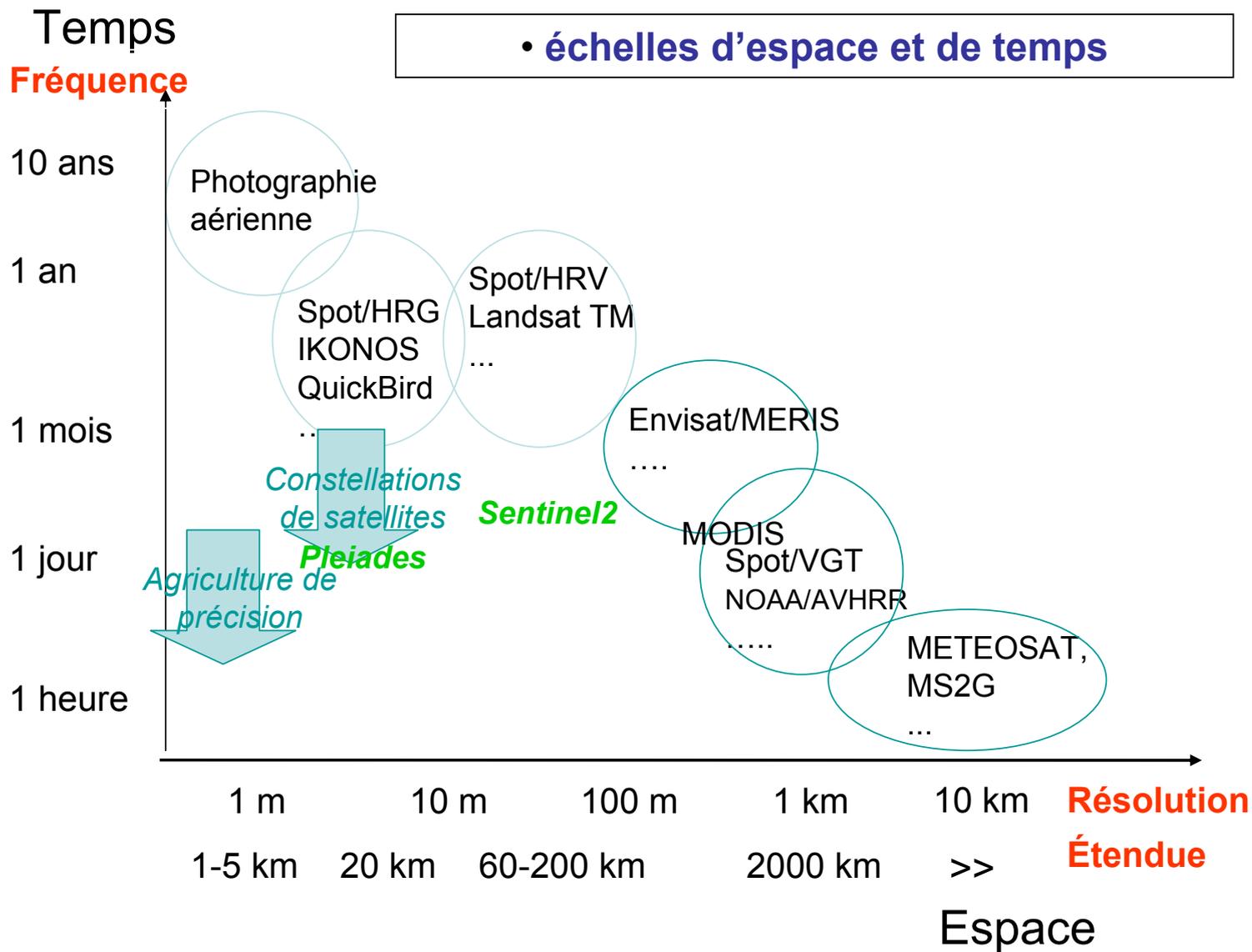
• Les bandes spectrales



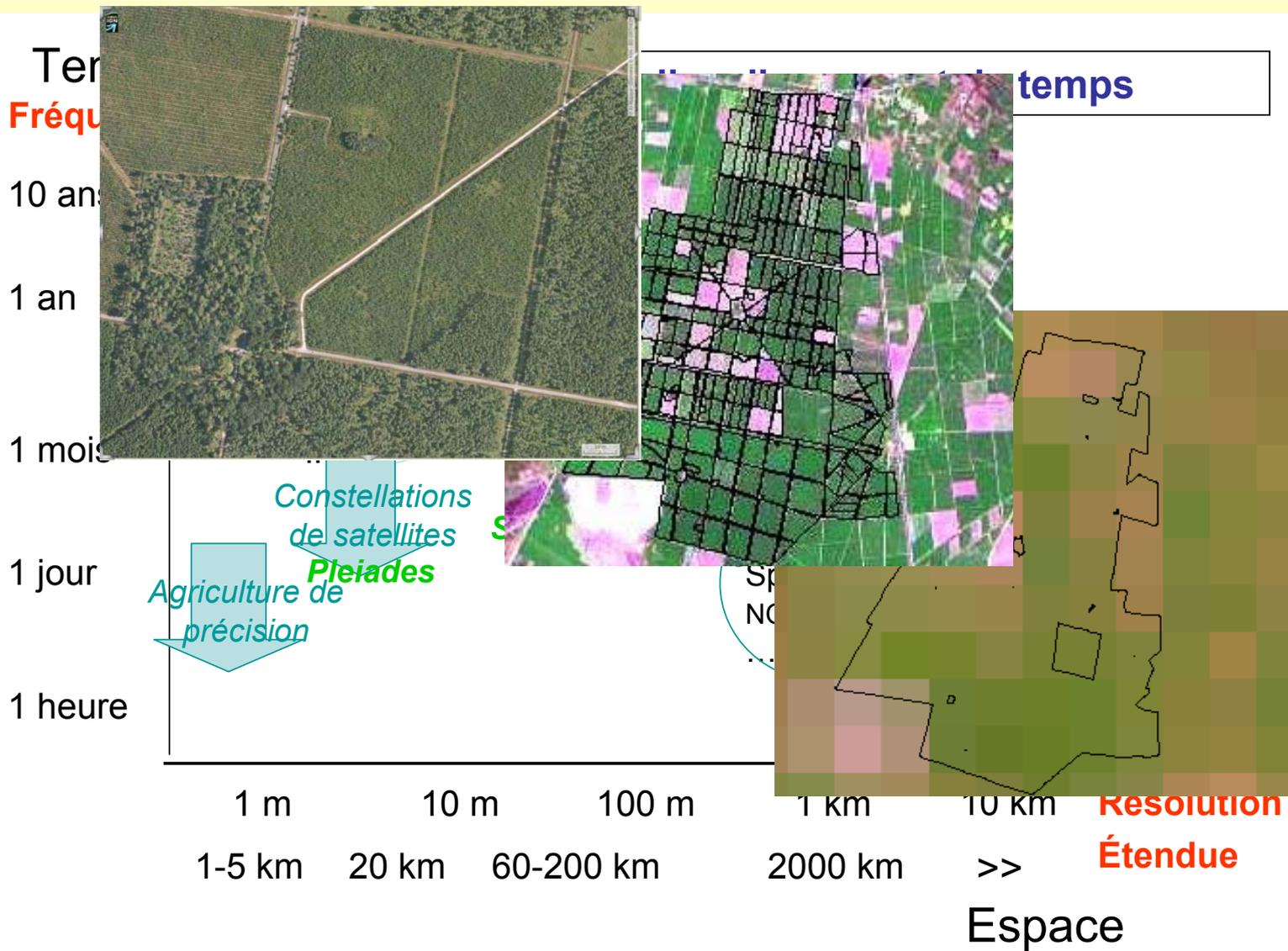
Capteurs multispectraux:

- Toujours au moins une bande spectrale dans le ROUGE et une dans le PROCHE INFRAROUGE
- souvent une dans le MOYEN INFRAROUGE

❖ Données de télédétection utiles



❖ Données de télédétection utiles



Temps

Fréquence

❖ Données de télédétection utiles

Complémentarité des échelles
d'espace et de temps

10 years

- Visible - Infrarouge (500-2500nm)
- Microondes actives (RADAR)

1 year

- changements à basse fréquence
- échelle \leq parcelle:
Structure des
couverts

1 month

Changement d'échelle

1 day

- Visible - Infrarouge (500-2500nm)
- Infrarouge thermique
- Microondes passives

1 hour

- changements à haute fréquence :
- Fonctionnement des
couverts

1 m

10 m

100 m

1 km

10 km

Résolution

1-5 km

10 km

50-200 km

2000 km

>>

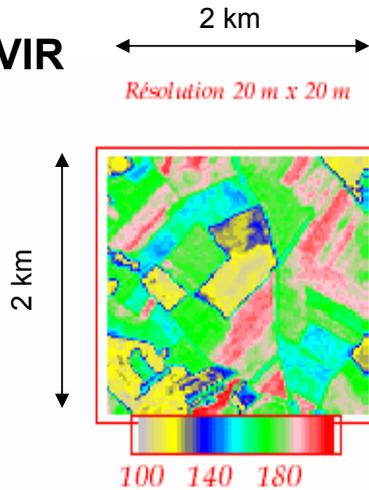
Etendue

Espace

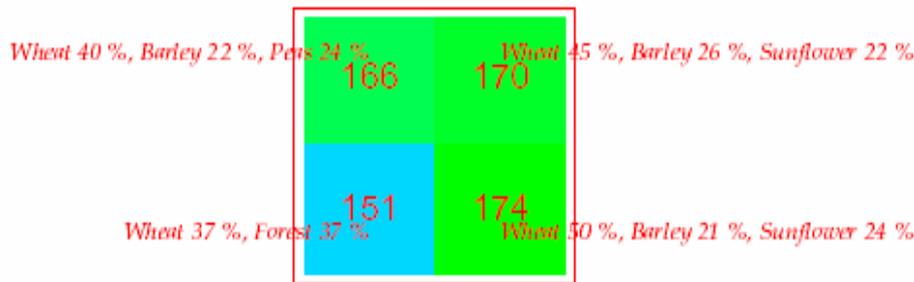
❖ Données de télédétection utiles

• Pixel mixte

SPOT/HRVIR



SPOT/VEGETATION



• Pixel i

- J classes, $\pi_i = (\pi_{i1}, \dots, \pi_{ij}, \dots, \pi_{iJ})$
 π_{ij} = proportion surface de la classe j dans le pixel i
 $\sum \pi_{ij} = 1$ dans pixel i

- $\rho_{ij}(t)$: réflectance de la classe d'occupation du sol j dans le pixel i

- $X_i(t)$ = réflectance pixel i à date t

Si pixel $i \gg$ hauteur des objets (plants, arbres,...):

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^J \pi_{ij} \rho_{ij}(t)$$

➤ Méthodes de désagrégation -> estimer ρ_{ij}

❖ Exemples d'application de la télédétection

☐ Changements brutaux

→ Suivi / prévision production et durabilité

ex1: Massif landais de pin maritime:

Dégâts de tempête (1999, 2009)

Cartographie annuelle des coupes rases

Haute et très haute résolution spatiale

☐ Changements progressifs

→ Suivi de la phénologie / indicateur de la réponse aux conditions pédoclimatiques

ex2: Forêts feuillues

Datation stades phénologiques, longueur du cycle de végétation

Variations sous des gradients environnementaux: altitude (*Pyrénées*)

ex3: Massif landais de pin maritime:

Hétérogénéités spatio-temporelle de la dynamique saisonnière

Très fréquente revisite

Exemple 1:

Apport de la haute résolution spatiale pour le suivi de la production forestière dans le massif de pin maritime des Landes

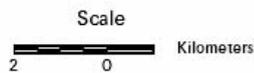
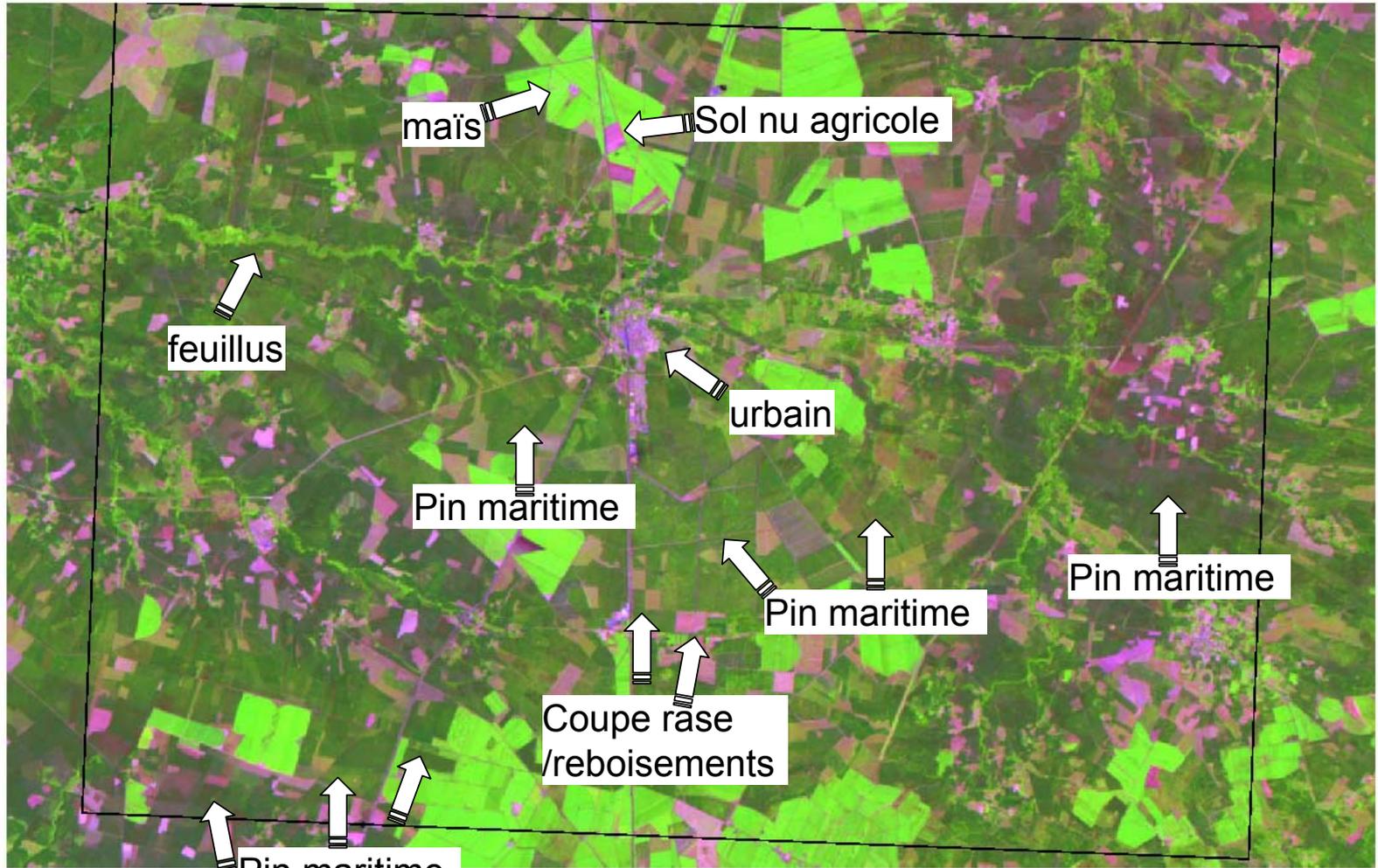


Exemple d'application 1

Satellites d'observation de la Terre à haute résolution
HRV ou HRVIR SPOT (1 à 4), Landsat TM

- Haute résolution spatiale: 10 à 30m
plusieurs arbres dans un même pixel
-> échelle **peuplement**
 - Faible répétitivité temporelle: plusieurs mois
-> changements **annuels**
 - Longueurs d'onde: Visible, proche et moyen infrarouge
- **Quelles informations sur le couvert forestier et ses changements (discrets: anthropiques ou accidentels) ?**

Exemple 1

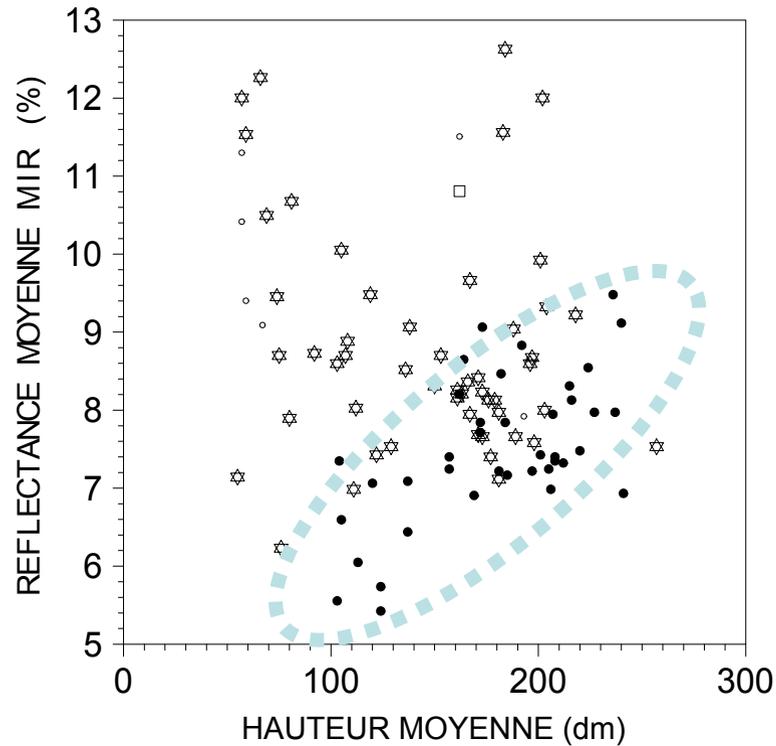


Région de Sabres - 16 juillet 1986
Landsat TM - rouge=TM5 vert=TM4 bleu=TM3

Exemple 1

PLACETTES IFN GIRONDE HOMOGENES 5*5

HAUTEUR MOYENNE / MOYENNE 3x3 TM5



TAUX DE COUVERT	Symbol	Range (%)
20 - 24 %	□□□	20 - 24 %
50 - 74 %	△△△	50 - 74 %
25 - 49 %	○○○	25 - 49 %
>74 %	●●●	>74 %



21 avril 1984



13 juillet 1985



16 juillet 1986



20 août 1987



7 septembre 1988



12 octobre 1989



11 juillet 1990

Secteur landais de
5000 ha

Série d'images
Landsat TM

sur 7 ans

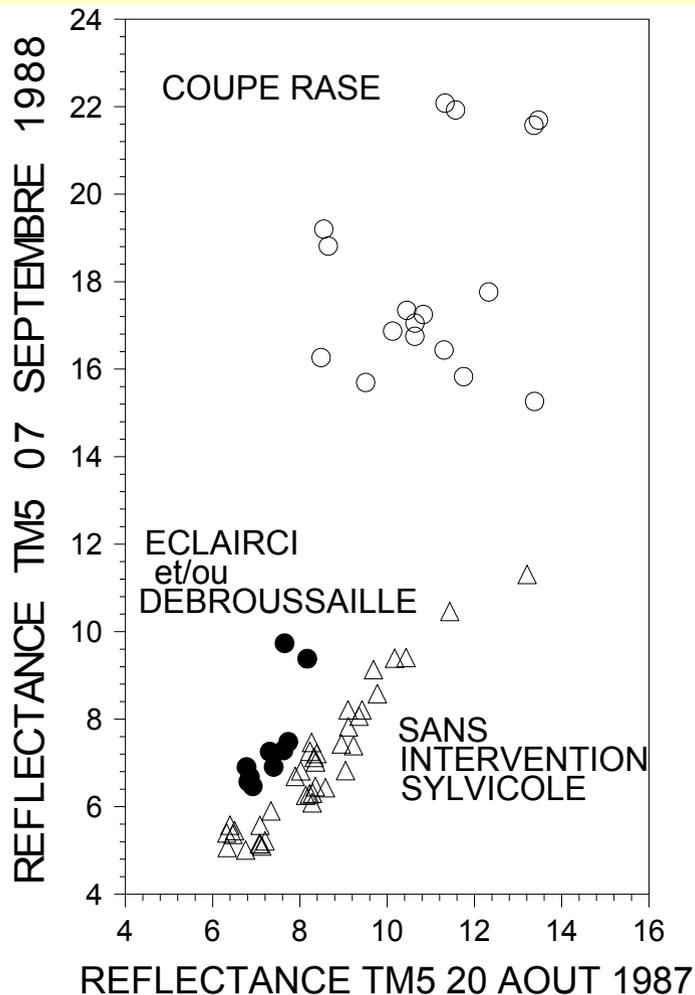
Rouge= TM5

Vert= TM4

Bleu= TM3

- Changements saisonniers : phénologie, calendrier cultural, position soleil
- Changements sylvicoles : **coupe rase**, reboisement, accident (incendie, chablis)
- Changements occupation sol : défrichage

Exemple 1



Unité = %

	variation moyenne de la réflectance au sol entre les 2 dates <i>[nombre de peuplements observés]</i>		
période	aucune Intervention sylvicole	coupe rase	éclaircie ou/et débroussaillage
21 avril 1984 - 13 juil. 1985	0.25 [58]	9.62 [12]	2.06 [7]
13 juil. 1985 - 16 juil. 1986	-0.98 [51]	7.12 [17]	-0.15 [5]
16 juil. 1986 - 20 août 1987	-0.49 [44]	9.33 [19]	1.23 [5]
20 août 1987 - 07 sept. 1988	-1.74 [38]	7.37 [17]	-0.08 [10]
07 sept. 1988 - 12 oct. 1989	[1.70 [46]	12.88 [9]	2.58 [7]
12 oct. 1989 - 11 juil. 1990	1.05 [40]	8.31 [3]	3.30 [7]
moyenne	-0.01 [277]	8.83 [77]	1.47 [41]

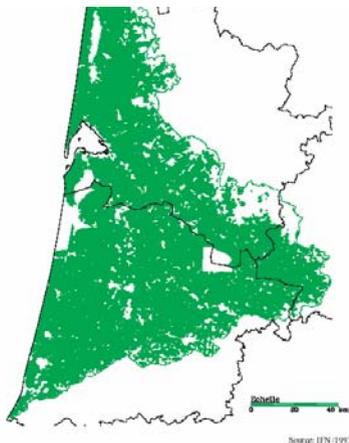
Changements de réflectance dans le moyen infrarouge induits par les coupes rases, les éclaircies et les débroussailllements.

(peuplements de pin maritime de plus de 10 ans)

Exemple 1: application de la détection des changements radiométriques à la cartographie annuelle des coupes rases dans la futaie de pin maritime

MASSIF DES LANDES DE GASCOGNE

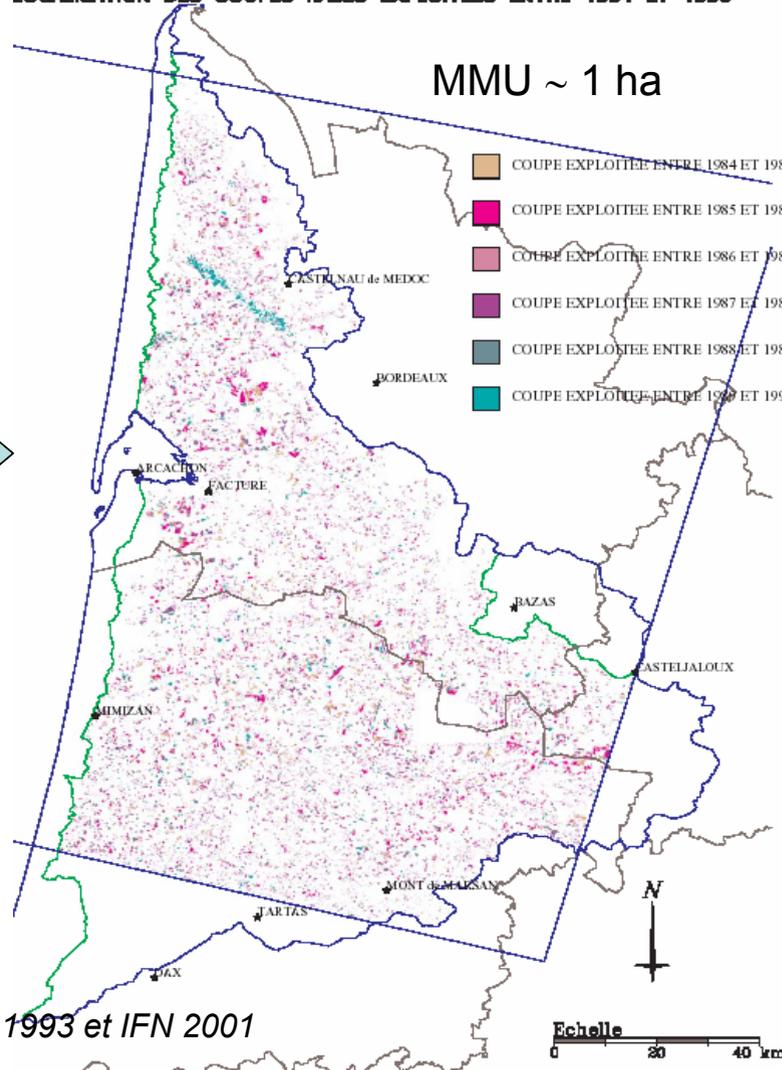
Carte futaie de pin maritime (IFN)



LOCALISATION DES COUPES RASES EXPLOITEES ENTRE 1984 ET 1990

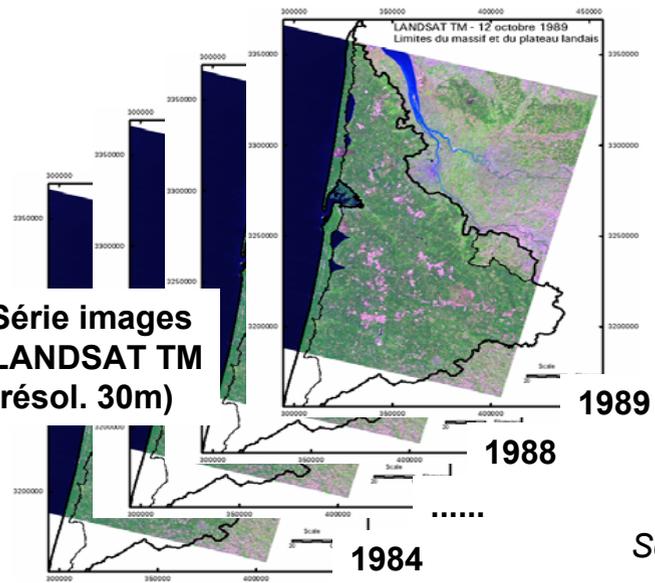
MMU ~ 1 ha

- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1984 ET 1985
- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1985 ET 1986
- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1986 ET 1987
- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1987 ET 1988
- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1988 ET 1989
- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1989 ET 1990



Source: Jolly 1993 et IFN 2001

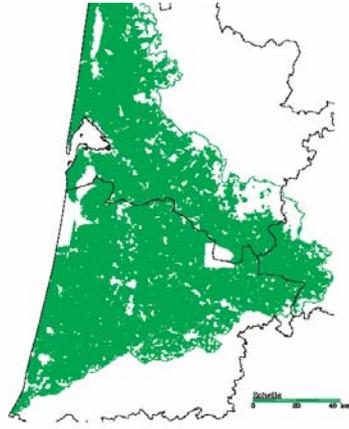
Série images LANDSAT TM (résol. 30m)



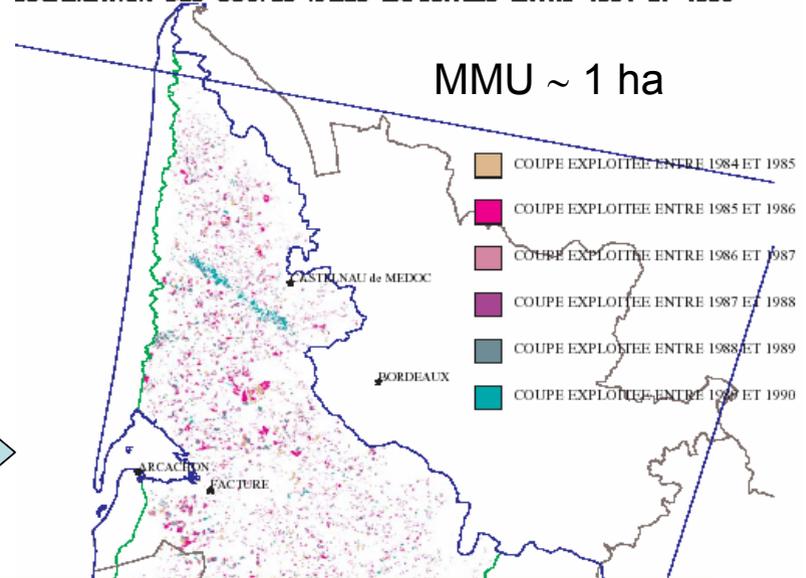
Exemple 1: application de la détection des changements radiométriques à la cartographie annuelle des coupes rases dans la futaie de pin maritime

MASSIF DES LANDES DE GASCOGNE

Carte futaie de pin maritime (IFN)



LOCALISATION DES COUPES RASES EXPLOITEES ENTRE 1984 ET 1990



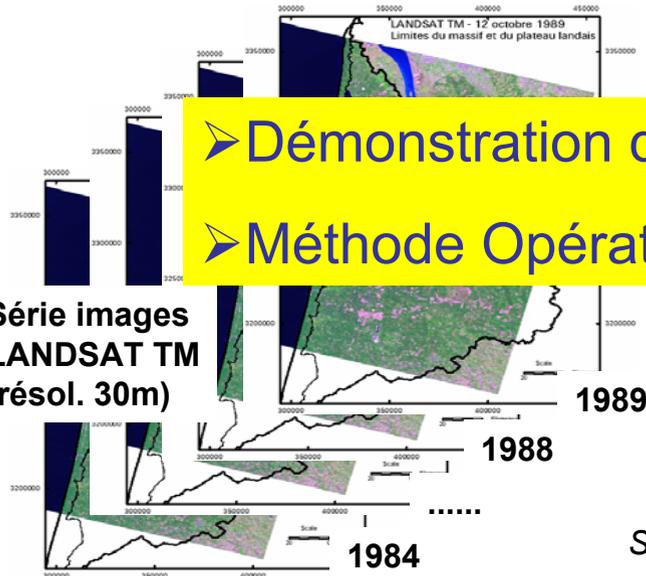
MMU ~ 1 ha

- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1984 ET 1985
- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1985 ET 1986
- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1986 ET 1987
- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1987 ET 1988
- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1988 ET 1989
- COUPE EXPLOITEE ENTRE 1989 ET 1990

➤ Démonstration de faisabilité: INRA

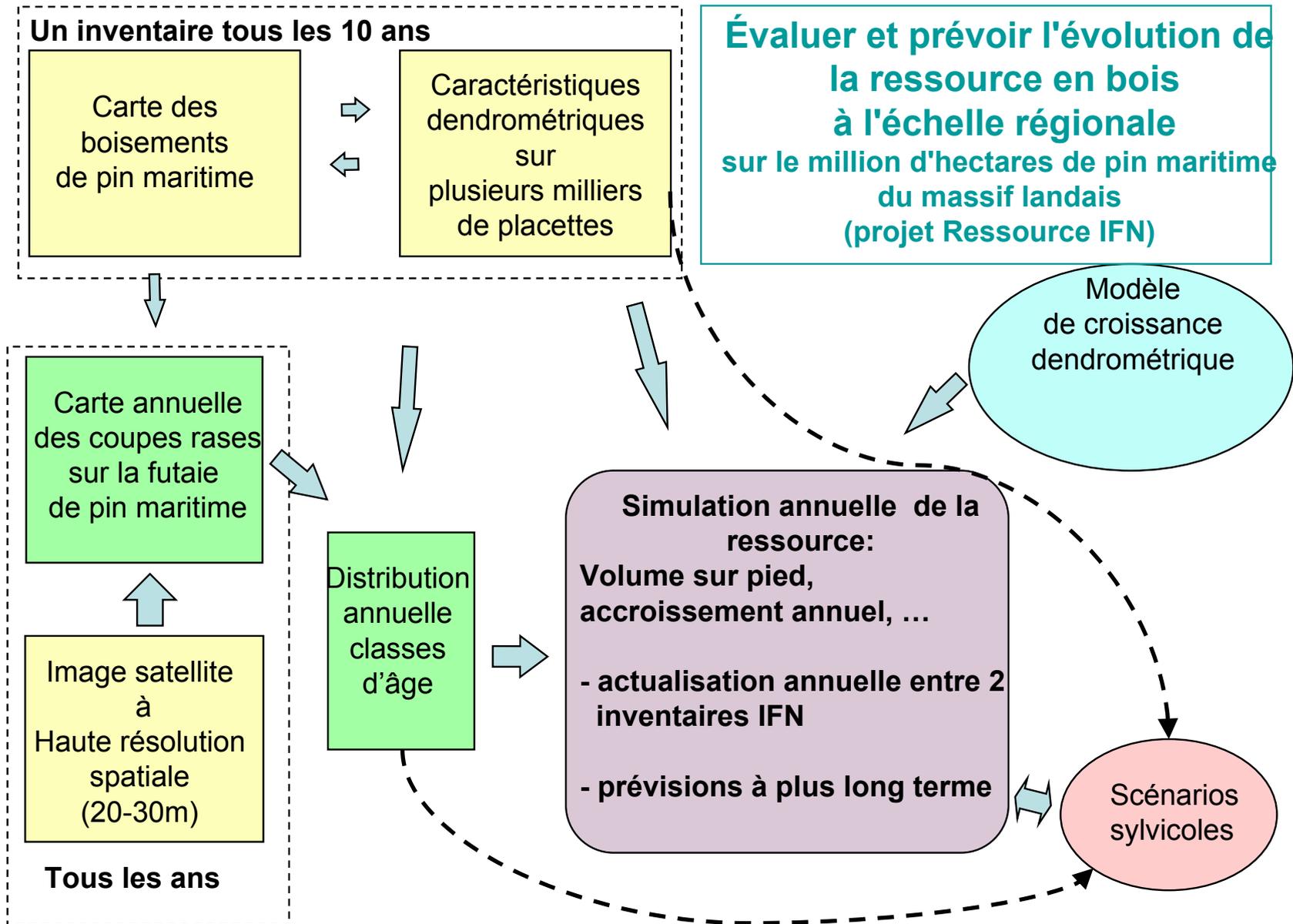
➤ Méthode Opérationnelle, Application: IFN

Série images LANDSAT TM (résol. 30m)



Source: Jolly 1993 et IFN 2001

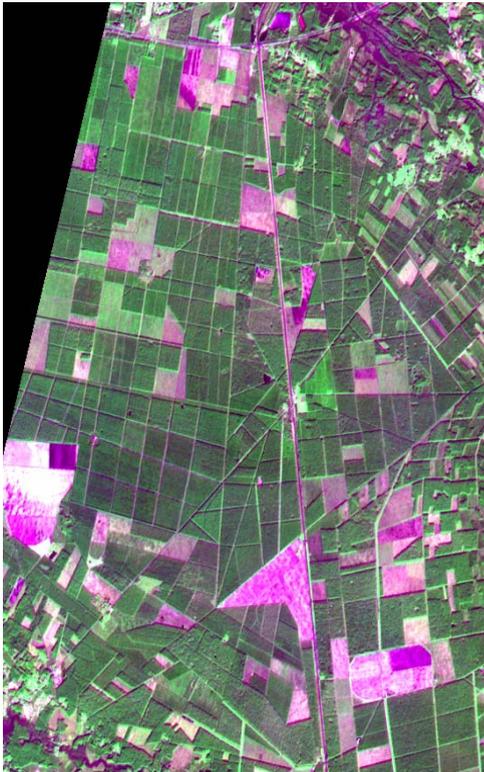
Echelle 0 20 40 km



Détection et localisation des changements de structure de type coupe rase
Futaie de pin maritime en Aquitaine

-> cartographie de dégâts tempête 1999, 2009

Données SPOT - Résolution 20 m - Rayonnement solaire réfléchi (VIS, PIR, MIR)



Avant tempête: 14 février 1999



Après tempête: 10 janvier 2000

Estimation des dégâts de la tempête de déc. 1999 sur le massif forestier de pin maritime des Landes par l'IFN (Inventaire forestier national)

Extrait d'image avant tempête



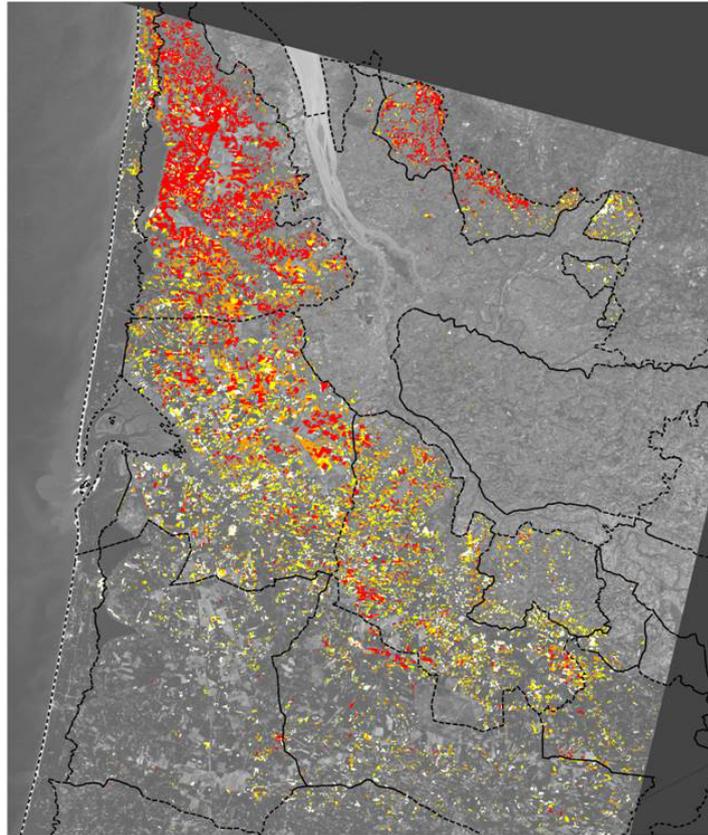
Extrait d'image après tempête



Changements radiométriques



Carte des dégâts



Futaie de pin maritime en Aquitaine

Principe de la méthode et résultats

- précision spatiale:
 - surface minimale représentée (MMU): 4 ha
 - largeur minimale: 50 m
- erreurs d'omission, de commission: 10-15%

➤ Méthode Opérationnelle, Application: IFN



-- Limite de région forestière

Intensité des dégâts

0 à 20%
 20 à 40%
 40 à 60%
 60 à 80%
 80 à 100%

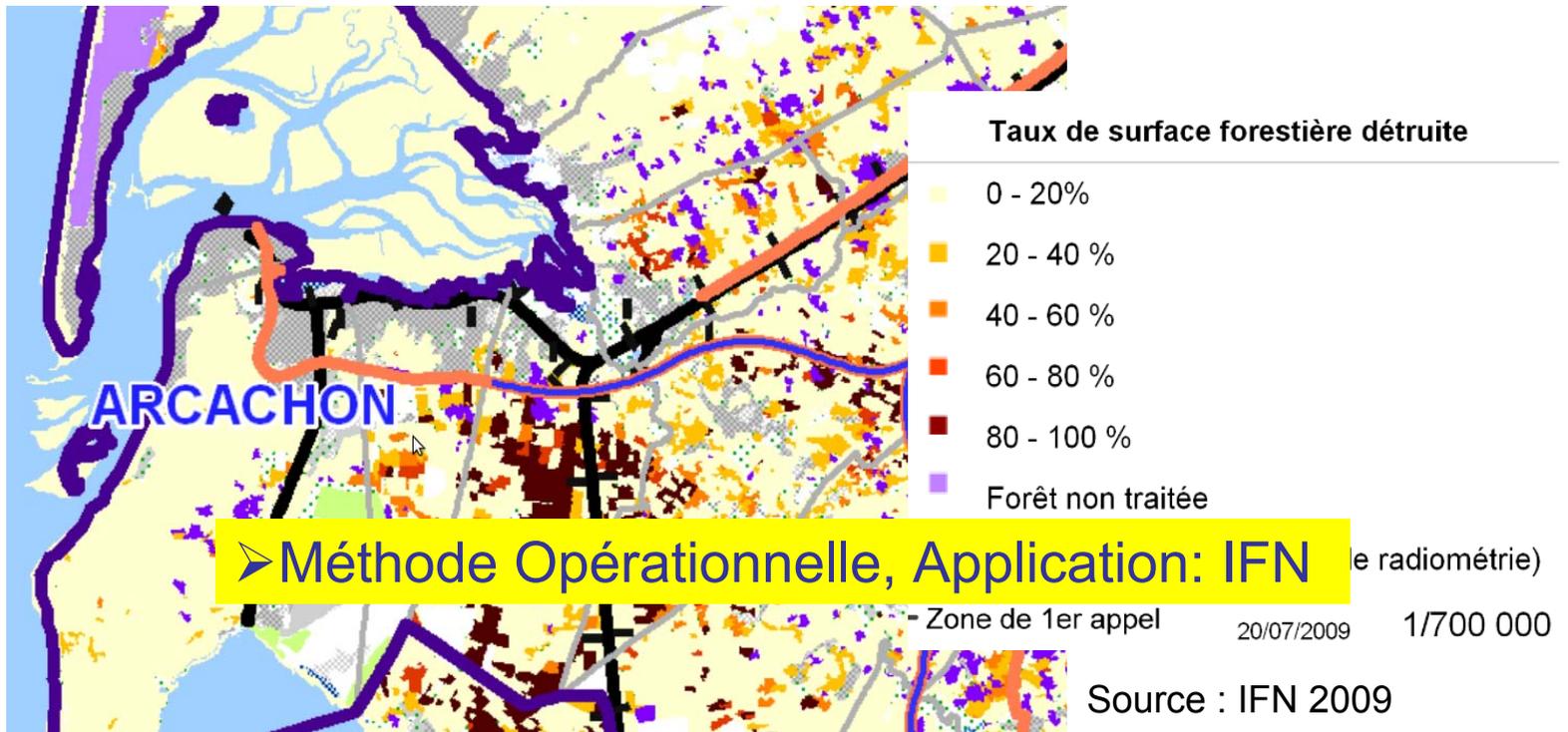
Echelle : 1 / 250 000



Volume de chablis en futaie de pin maritime (type CM)
Répartition par région forestière*

* Chiffres arrondis à l'importance de calcul à condition après avoir sur les données de sources sur le terrain

Tempête janvier 2009: cartographie des dégâts sur la forêt landaise (IFN et Cemagref)



- images SPOT Haute Résolution (10-20m) avant et après tempête
- Détection changements pixel + segmentation orientée objet post-tempête
- Non détection des dégâts diffus (30 % dégâts) MMU = 1ha
- Carte pas assez précise pour utilisation à l'échelle des peuplements

Quel gain attendre de la très haute résolution pour la détection des changements forestiers?

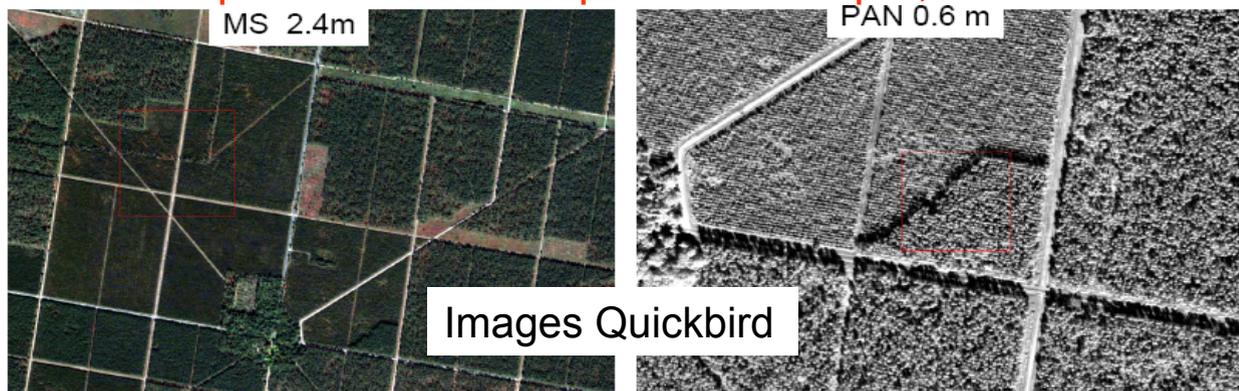
Dégâts tempête, déboisement, coupes.....

→ *Cartographie fine*

→ *Meilleure détection, meilleure discrimination*

futur système satellitaire PLEIADES (fin 2011):

résolution spatiale : 0.7m en panchromatique, 2.8 m en multispectral



Étude méthodologique EGID/INRA/CNES qui a commencé en 2009

Exemple d'application 2: suivi phénologique des forêts à large échelle

Phénologie des plantes :

étude des événements périodiques dans leur cycle de vie (feuillaison, floraison, ..),

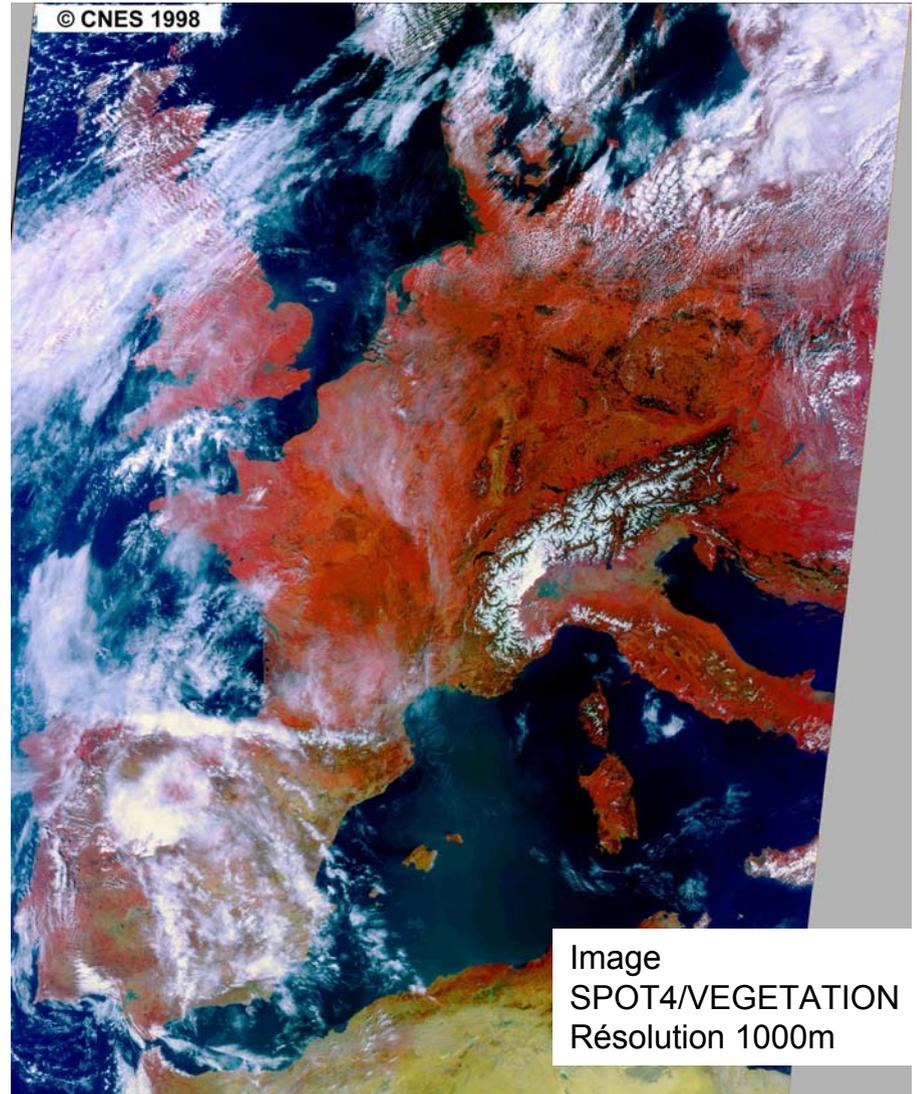
sous l'influence de l'environnement

en particulier: variations saisonnière des températures et des précipitations

Variations interannuelles / long termr de la durée de la saison de croissance

- suivi phénologique des forêts feuillues tempérées

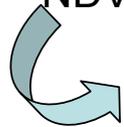
- Allongement de la saison de croissance et réchauffement climatique



Exemple: Suivi phénologique à large échelle

- Applications: croissance/productivité, bilan de C, bilan hydrique
tendances long terme / changement climatique
échelles régionales et continentales
- Données de télédétection:
Haute fréquence temporelle: 1 jour – 1 semaine
Basse résolution spatiale: 1 km (> peuplement)
NOAA/AVHRR, SPOT/VEGETATION, MODIS,
- Approche empirique
- **Analyse des variations saisonnières de l'indice de végétation NDVI**

$$NDVI = (R_{pir} - R_{rouge}) / (R_{pir} + R_{rouge}) \quad \text{avec } R = \text{réflectance}$$



f (fraction de PAR absorbé)

$\propto (1 - \exp(-k LAI))$

$\propto (LAI)$ pour LAI faible

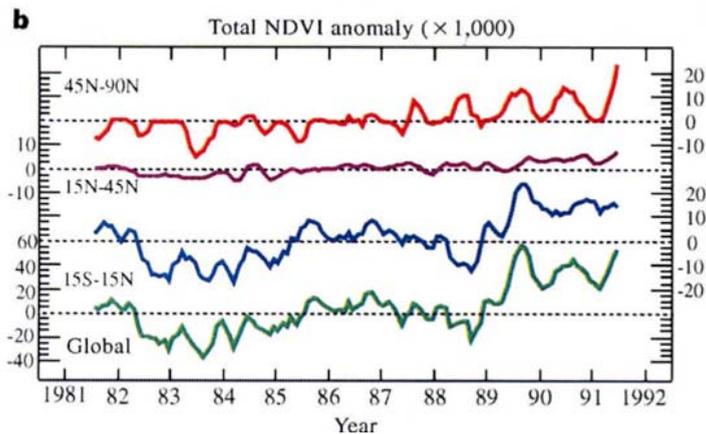
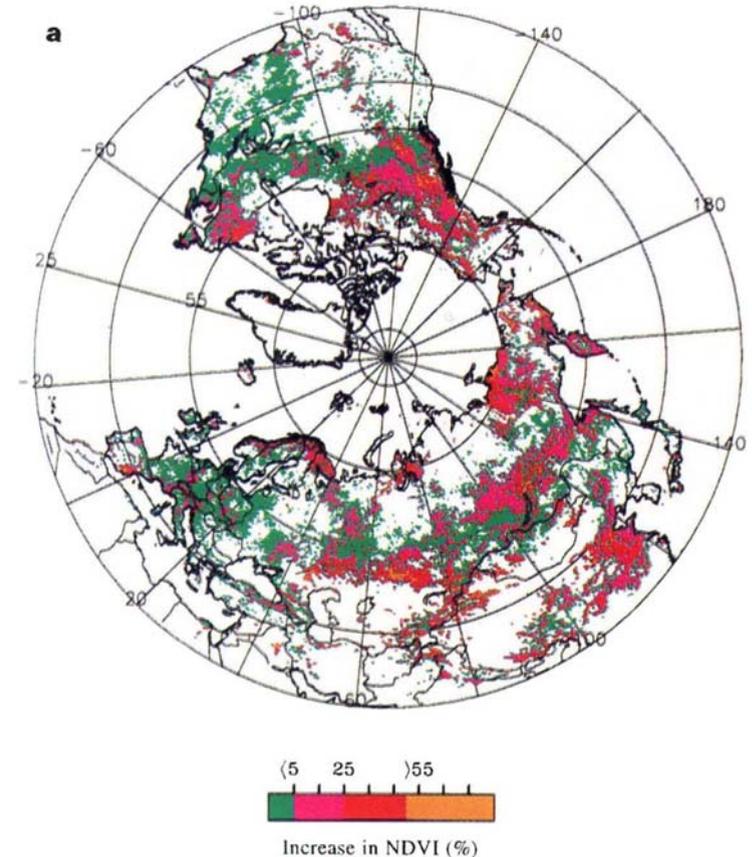
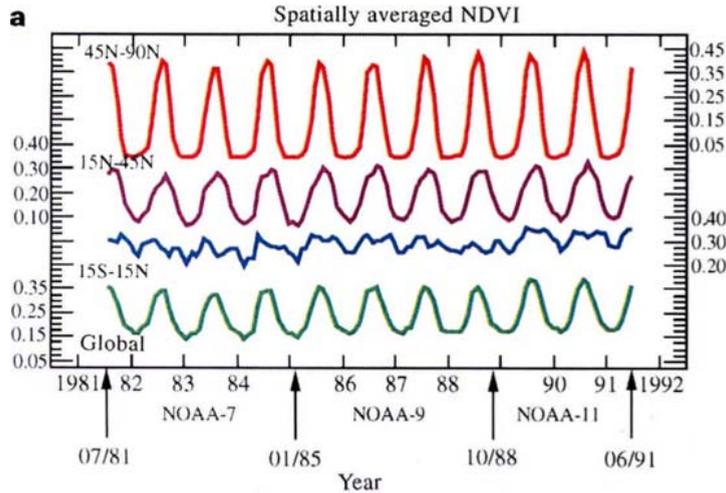


$$NDVI = f(LAI)$$

➤ Applications en Recherche

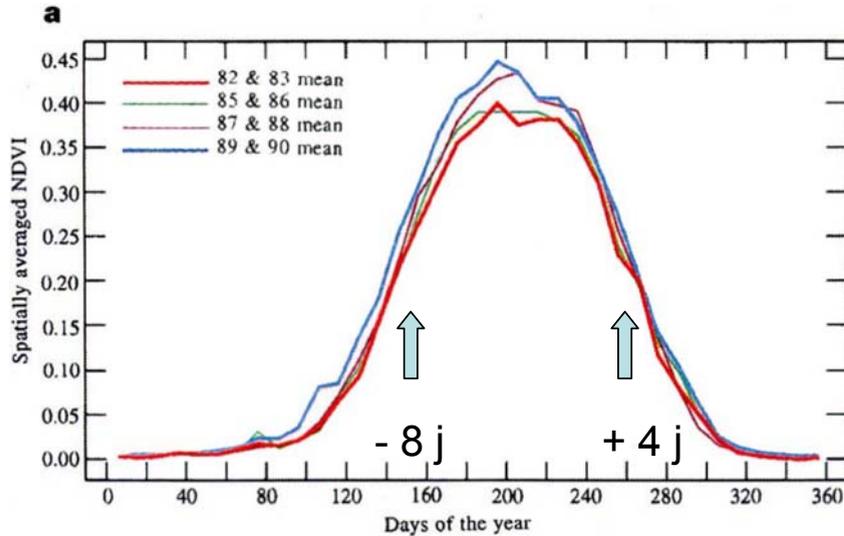
Allongement de la saison de croissance et réchauffement climatique à l'échelle de l'hémisphère nord (1/2)

Observations: Série temporelle de données satellitaires NOAA/AVHRR



Source: Myneni et al., 1997, NATURE, vol386, 698-702

Allongement de la saison de croissance et réchauffement climatique à l'échelle de l'hémisphère nord (2/2)

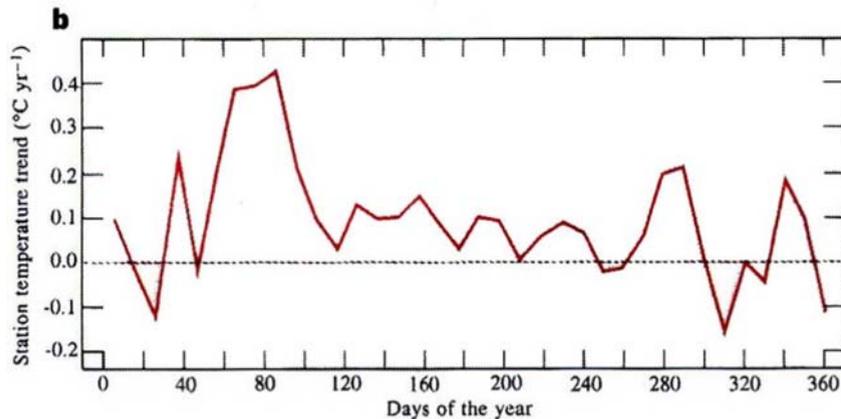


45N-90N

1981-1991

- Avance printanière=
- 8 jours

- Recul de la fin période de croissance=
+ 4 jours



Précision= + ou moins 2-3 jours

Phénologie des forêts feuillues tempérées

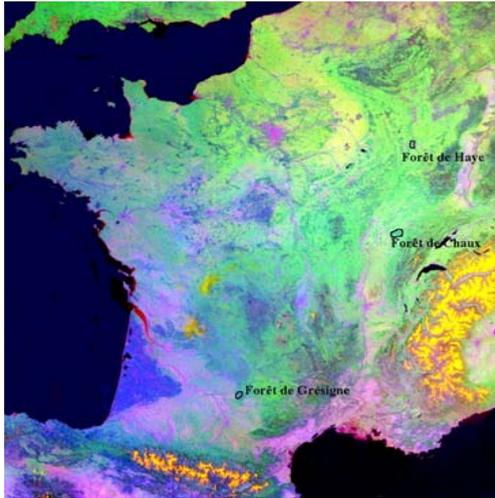
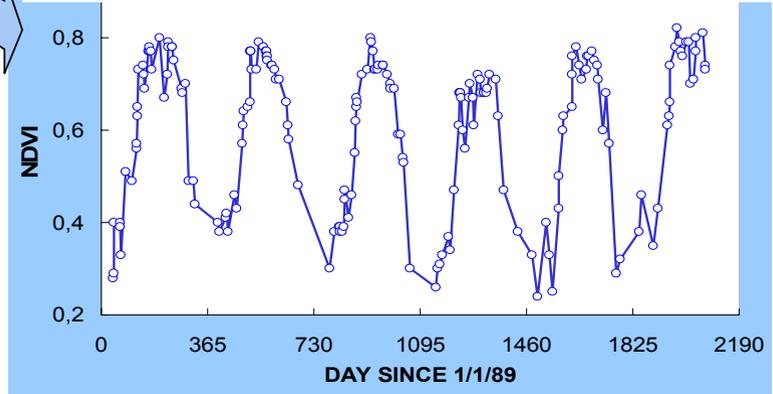
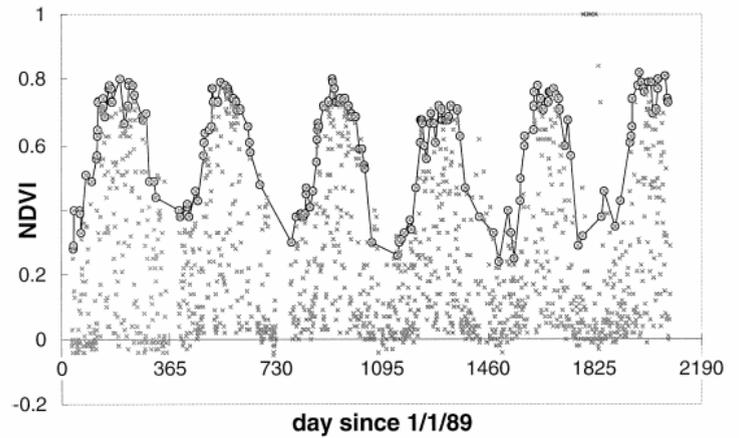


Image AVHRR/NOAA du
13/05/1992

Composition colorée

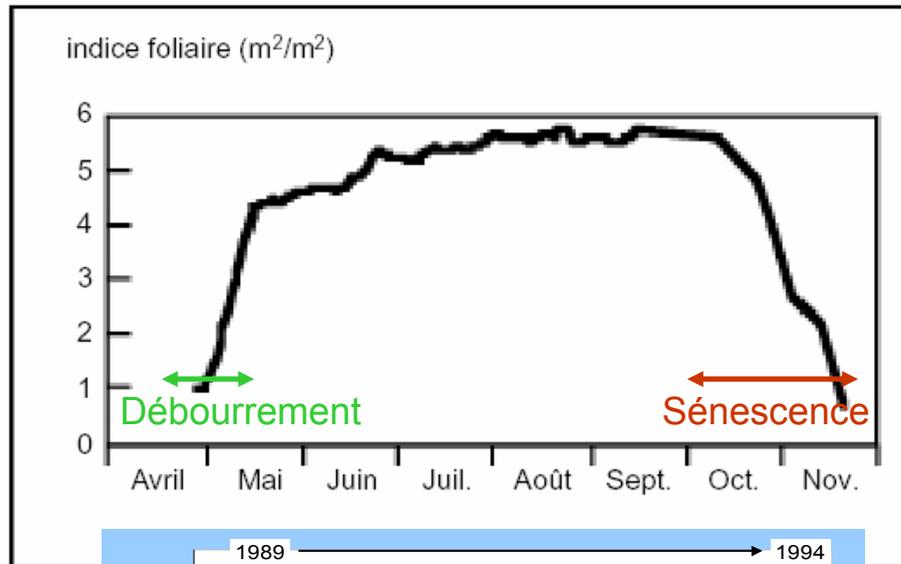
Filtrage des
pixels
ennuagés,
corrections
atmosphériques



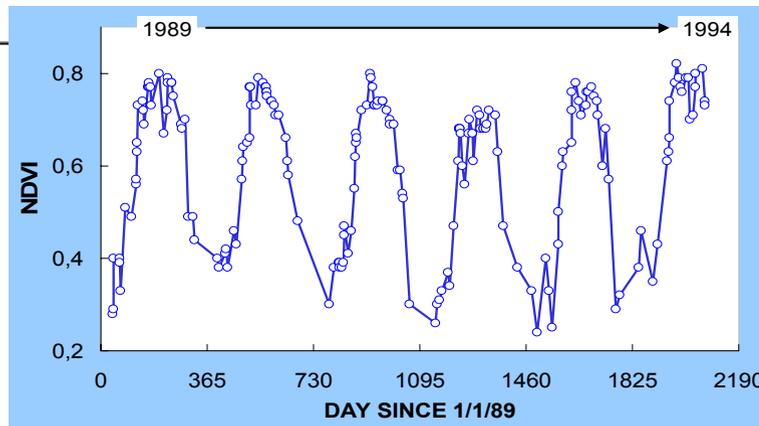
Time series of NDVI on a 50 km² forested
area from 1989 to 1994

Phénologie des forêts feuillues tempérées

- Sources de variation saisonnière du signal de télédétection:
 - Variations directionnelles de la réflectance: soleil, capteur
 - Cycle Phénologie



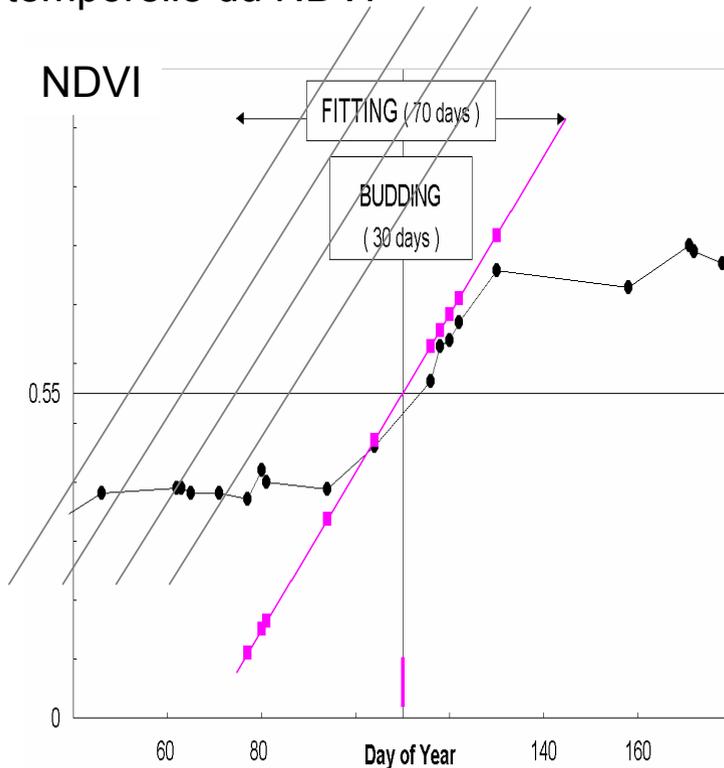
Exemple de dynamique saisonnière d'indice foliaire dans un peuplement de 35 ans de chêne sessile du Nord-Est de la France. L'augmentation observée en juin correspond à la mise en place d'une nouvelle pousse (d'après Bréda, 1999).



Phénologie des forêts feuillues tempérées

METHODE

- Analyse du NDVI moyen sur 3 forêts (~50 km² par forêt et uniquement pixels purs forêt)
- Effets directionnels non critiques : normalisation pas indispensable
- Datation des stades phénologiques clefs par comparaison à un modèle de variation temporelle du NDVI



- Modèle linéaire du changement de

NDVI au printemps et à l'automne:

centré sur 0.55

$$\text{NDVI}=0.55 \Rightarrow 1 < \text{LAI} < 1.5$$

Printemps: 0.35 à 0.75 en 30 jours

Automne: 0.70 à 0.40 en 50 jours

- Date [(observation- modèle)=min]

→ datation: **Débourrement**, **Sénescence**

→ **durée du cycle**

Exemple: forêt de Chaux (chêne sessile)

Indicateurs
phénologiques
estimés

Phenology derived from NDVI time series

YEAR	Budburst Day	Senescence Day	Length of Growing Season
1989	124	303	179
1990	129	288	159
1991	144	294	150
1992	128	282	154
1993	115	275	160
1994	109		
Mean	125	288	160

Comparaison
avec des
observations
au sol

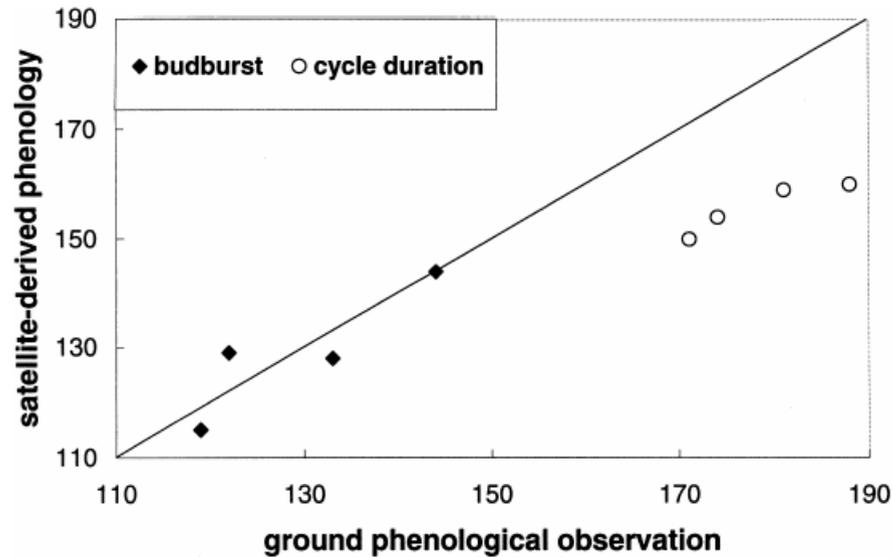


Figure 9. Satellite-derived budburst (◆) and phenological cycle duration (○) for the sessile oak Chaux forest compared to ground measurements on a nearby sessile oak stand of Champenoux forest (Bréda and Granier, 1996).

Comparison avec estimations à partir d'un modèle phénologique climatique:
somme de températures

Cohérence spatio-temporelle des estimations par satellite: latitude, espèces

	<i>Chêne</i>	<i>Hêtre</i>
<i>Nord</i>	Chaux	Haye
<i>Sud</i>	Grésigne	

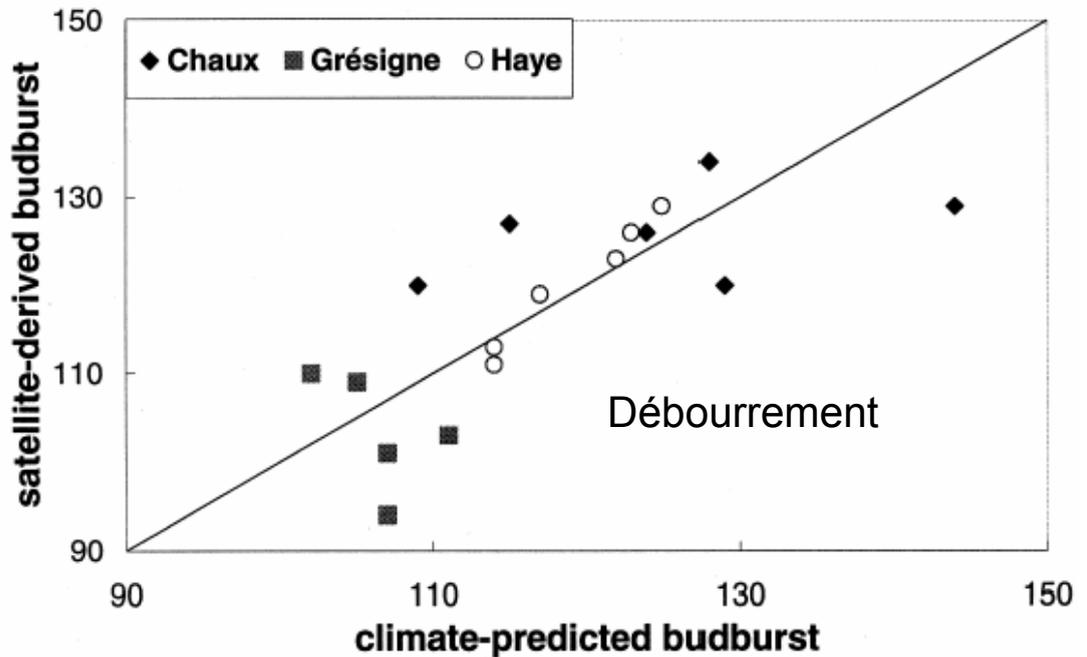


Figure 10. Satellite-derived compared to climate-predicted budburst for the three studied forests.

Variations altitudinales de la phénologie foliaire des forêts feuillues pyrénéennes à partir de séries de données VEGETATION (1km²)

Après: *normalisation effets directionnels (modèle Roujean)*

et désagrégation des variations saisonnières de l'indice de végétation PVI (modèle Cardot)

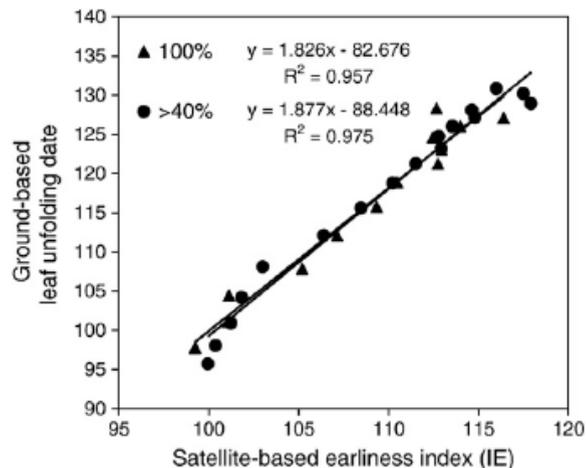
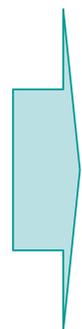
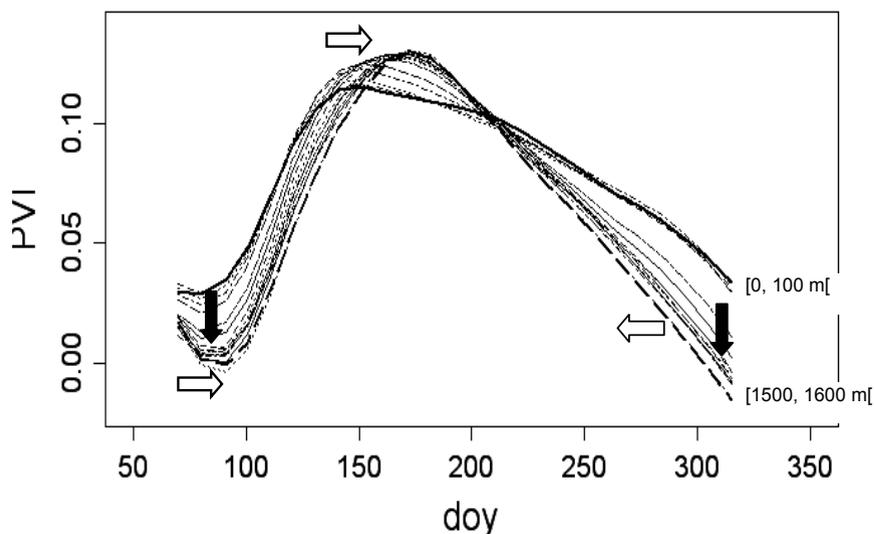
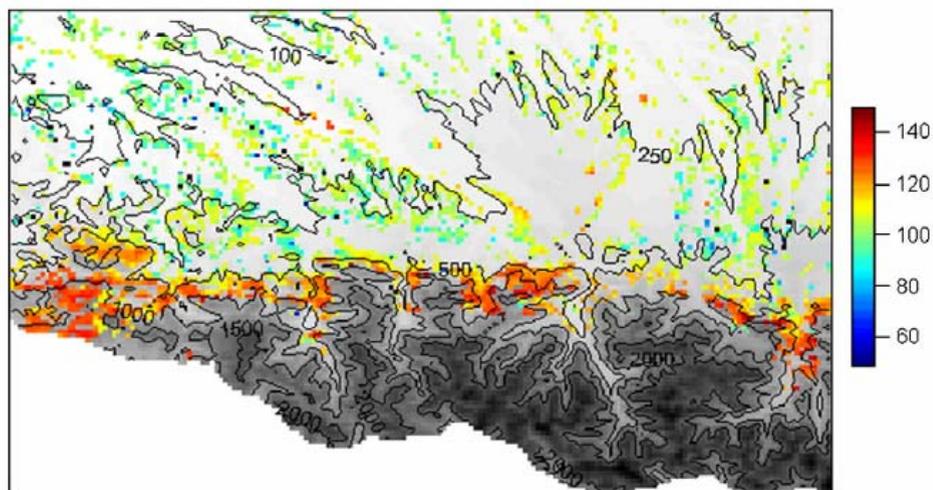
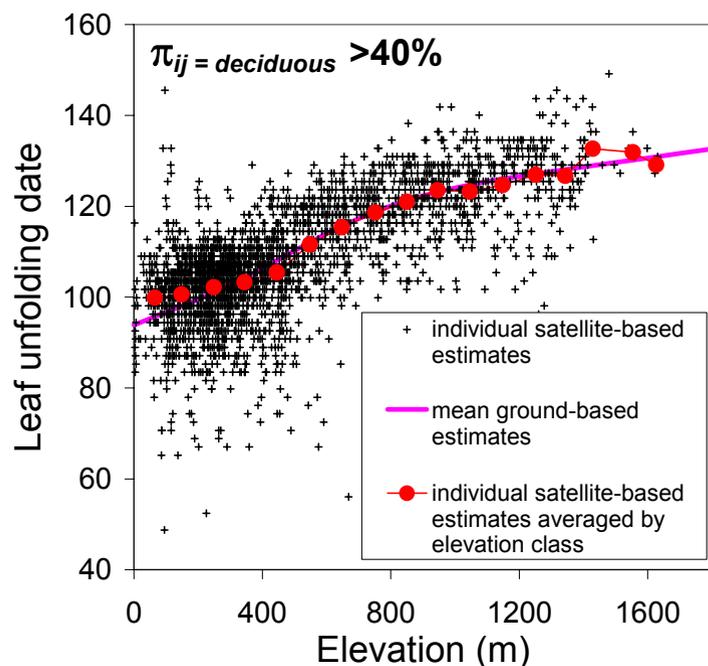


Fig. 8. Linear regression between satellite-derived earliness index (IE) and ground-based leaf unfolding date (LUD). Both are averaged by 100 m wide elevation class. Results for pixels with a fraction of deciduous broadleaf forest $n_{j-deciduous} > 40\%$ and for pure pixels (100%). RMSE is equal to 1.8 and 2.1 days, respectively.

Variations altitudinales de la courbe saisonnière de l'indice de végétation des forêts feuillues.

Variations altitudinales de la date de débourrement des forêts feuillues

Moyennes sur la période 2002-2006



- Erreur sur la date débourrement pour une altitude donnée ~ 2 jours
- La gamme des variations altitudinales estimées par satellite concorde avec celle estimée au sol: ~ 40 jours de 0 à 1600m d'altitude