



UNIVERSITÉ DE GENÈVE

## Certificat de spécialisation en géomatique

# **Etude du potentiel des indices de végétation de l'imagerie MODIS pour l'observation de l'évolution intra- et inter-annuelle de la couverture du sol**

Application à la région genevoise  
(zone urbaine et périurbaine)

**Julien Brun**

Diplômé en Sciences naturelles  
de l'environnement

**Sous la direction du**

**Dr. Jean-Michel Jaquet**

Head of Earth Observation Unit  
UNEP/DEWA/GRID-Geneva

## Abstract

In this study we used images of vegetation indices (NDVI and EVI) of the MODIS sensor at a 250 m resolution to evaluate their potential for the monitoring (intra- and inter- annual) of the soil cover in the Geneva area (Switzerland and France). First we established a spectral signature for each area of interest and allocate it a type of soil cover using the data from the field campaign done in this area by the UTED-S\* for the years 2000 and 2001.

To avoid any georeference problems, we chose to leave the MODIS images in their projection system and to reproject the vector data of field campaign in that system. We also make a selection of the big enough surface polygons for the MODIS resolution.

For intra-annual comparison, we have shown that this sensor, due to its high frequency of image acquisition, is totally adapted to study the different phenological phases. It is possible to observe the greenup dates in deciduous forest or cultures.

For inter-annual comparison, the lack of available data for the year 2001 (at the time of this work only the 6 first month of the year 2001 were available) made it impossible to use it for comparison.

In summary the limitations of the use of the MODIS sensor in this semi-urban region its due to is low resolution (250m). The high frequency of data acquisition and the fact that the images are already corrected from atmospheric interferences is an advantage to use MODIS images for phenological studies.

---

\* Unit of remote sensing and GIS, Section of Earth Sciences, Faculty of Science, University of Geneva  
[http://www.unige.ch/sciences/terre/geologie/w\\_groups/Geomatic/MainGeom.htm](http://www.unige.ch/sciences/terre/geologie/w_groups/Geomatic/MainGeom.htm)

## Résumé

Cette étude vise à déterminer le potentiel des images d'indices de végétation (NDVI et EVI) du capteur MODIS à 250m de résolution, afin d'effectuer un suivi de l'évolution intra- et inter-annuelle de la couverture du sol en région genevoise. Pour cela, nous avons utilisé des relevés de terrain effectués par l'UTED-S\* dans la zone d'étude pour les années 2000 et 2001.

Pour ne pas créer de problème de géoréférencage, nous avons décidé de laisser les images MODIS intactes et de reprojeter dans ce système de coordonnées les polygones des relevés de terrain possédant une superficie suffisante pour être identifiables sur les images.

Du point de vue du suivi intra-annuel de la couverture du sol, nous avons démontré que ce capteur, de part sa haute fréquence de passage, est totalement adapté à l'observation des différentes phases phénologiques. Il permet de mettre en évidence, par exemple, le démarrage des différentes cultures au cours de l'année. Nous avons également pu montrer au sein des forêts de feuillus et de conifères les variations annuelles des indices.

Du point de vue inter-annuel, malheureusement notre étude a été passablement gênée par le fait que les images d'indices de végétation pour la région ne semblent être disponibles qu'avec deux ans de retard. Il ne nous donc pas été possible d'obtenir des images pour 2002 et 2001 n'a pu être utilisée que pour la première moitié de l'année, nous empêchant de faire des comparaisons pertinentes entre 2000 et 2001

Toute la difficulté de l'utilisation du capteur MODIS dans cette région assez urbanisée, où les parcelles agricoles sont de taille modérée, provient de sa faible résolution spatiales (250m). Cependant sa grande fréquence de passage et le fait que les produits utilisés soient déjà corrigés atmosphériquement lui confèrent une qualité indéniable pour l'observation phénologique.

Ce travail a posé une base d'étude de la phénologie de la région genevoise. Il serait intéressant de lui donner suite afin de déterminer des zones pertinentes pour lesquelles de relevés de terrain seraient effectués de manière régulière, et ainsi mettre en place un système de surveillance continu pour la région genevoise.

---

\* Unité de télédétection et SIG, Section sciences de la Terre, Faculté des sciences, Universités de Genève  
[http://www.unige.ch/sciences/terre/geologie/w\\_groups/Geomatic/MainGeom.htm](http://www.unige.ch/sciences/terre/geologie/w_groups/Geomatic/MainGeom.htm)

## Table des matières

1. But de l'étude .....	4
2. Descriptif du capteur MODIS se trouvant sur la plateforme TERRA .....	4
3. Les indices de végétation .....	6
3.1 Bases physiques des indices de végétation .....	6
3.2 Les indices proposés par le capteur MODIS .....	12
4. Méthodologie .....	14
4.1 Importation des fichiers HDF.....	14
4.2 Géoréférencage .....	14
4.3 Transformation des images brutes .....	15
4.4 Remplacement des placettes (AOIs) .....	16
5. Résultats et discussion .....	16
6. Conclusions .....	21
6.1 Bilan du stage .....	21
6.2 Perspectives.....	22
7. Références .....	23
7.1 Sites Internet .....	23
7.2 Références bibliographiques .....	23

## Liste des figures

Figure 1: Coupe d'une feuille .....	6
Figure 2: Courbe générale de la réponse spectrale des végétaux .....	7
Figure 4: Effet de la sénescence sur la réflectance d'une feuille de blé .....	8
Figure 5: Schéma simplifié de l'effet de couches multiples de feuilles sur la réflectance.....	9
Figure 6: Schéma de transformation des images MODIS .....	15
Figure 7: Codage de qualité des indices de végétation.....	18
Figure 8: Signature moyenne de l'EVI pour les feuillus lors de l'années 2000.....	20

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Bandes spectrales de MODIS utilisables pour l'observation terrestre.....	4
Tableau 2 : Détail des produits contenus dans un fichier HDF d'indices de végétation MODIS....	5
Tableau 3: Schéma simplifié de l'effet de couches multiples de feuilles sur la réflectance ...	11
Tableau 4: Transformation en différentes coordonnées .....	15
Tableau 5: Descriptif des placettes replacées sur les images MODIS .....	17

## 1. But de l'étude

Il s'agit de déterminer le potentiel des images MODIS NDVI et EVI à 250 m de résolution pour effectuer un monitoring intra- et inter-annuel de différents thèmes de la couverture du sol de la région genevoise. Pour cela, nous avons utilisé des placettes pour lesquelles un relevé de terrain avait été effectué en 2000 ou en 2001. Le géoréférencement de ces placettes avait déjà été effectué au préalable sur des images Landsat à une résolution de 30 m dans le système de projection cartographique helvétique. Il fallait donc trouver un moyen de replacer ces zones le plus précisément possibles sur les images du capteur MODIS.

## 2. Descriptif du capteur MODIS se trouvant sur la plateforme TERRA

Le satellite TERRA a commencé à acquérir des images le 24 février 2000. Il se trouve sur une orbite à 705 km de la surface de la Terre. Sa mission est de proposer une offre variée de capteurs ayant des caractéristiques spécifiques afin de permettre l'observation de différents compartiments du système terrestre (atmosphère, surface terrestre, océans, ...).

Les bandes susceptibles d'être utilisées pour l'observation de la surface terrestre sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Bandes spectrales de MODIS utilisables pour l'observation terrestre

No de bande	Largeur spectrale [ $\mu\text{m}$ ]	Résolution spatiale [m]
1 (Rouge)	620 – 670	250
2 (Proche infrarouge)	841 – 876	250
3 (Bleu)	459 – 479	500
4 (Vert)	545 – 565	500
5	1230 – 1250	500
6	1628 – 1652	500
7 (Infrarouge lointain)	2105 – 2155	500

D'après [2.1]

Toutes les images MODIS qui ont été utilisées pour ce travail ont été téléchargées depuis le site Web de l'USGS [2.2]. La liste des produits disponibles pour le capteur est longue. Pour notre part, nous avons choisi les indices de végétation (NDVI et EVI) calculés en prenant la valeur maximale de chaque pixel de l'image pour une période de 10 à 16 jours. Comme mentionné précédemment, la résolution spatiale de 250 m a été utilisée. Il est important de noter qu'une correction atmosphérique est effectuée pour le NDVI grâce à un capteur spécifique embarqué sur la plateforme TERRA. Ceci est important, car il est reconnu que le NDVI est un indice très sensible aux conditions atmosphériques (Holben, 1986; McDonald *et al.*, 1998) et que l'erreur introduite peut atteindre 50% de la valeur de l'indice (McDonald *et al.*, 1998; Song *et al.*, 2001).

Pour chaque période de 10 -16 jours, un fichier au format HDF est obtenu. Ce fichier contient 11 produits différents, dont le détail se trouve dans le tableau 2.

Tableau 2 : Détail des produits contenus dans un fichier HDF d'indices de végétation MODIS

Nom	Unité	Type des données et nombre de bits	Valeur de remplissage	Fourchette de valeurs	Facteur de division
NDVI à 250m 16 jours	NDVI	Nombre entier de 16 bits	-3000	-2000 – 10000	10000
EVI à 250m 16 jours	EVI	Nombre entier de 16 bits	-3000	-2000 – 10000	10000
Qualité du NDVI à 250m 16 jours	-	Nombre entier de 16 bits	65535	0 – 65536	-
Qualité du EVI à 250m 16 jours	-	Nombre entier de 16 bits	65535	0 – 65536	-
Réflectance de la bande 1 à 250m 16 jours	Réflectance	Nombre entier de 16 bits	-1000	0 – 10000	10000
Réflectance de la bande 2 à 250m 16 jours	Réflectance	Nombre entier de 16 bits	-1000	0 – 10000	10000
Réflectance de la bande 3 à 250m 16 jours	Réflectance	Nombre entier de 16 bits	-1000	0 – 10000	10000
Réflectance de la bande 7 à 250m 16 jours	Réflectance	Nombre entier de 16 bits	-1000	0 – 10000	10000
Moyenne de l'angle zénithal pour chaque pixel	Degré	Nombre entier de 16 bits	-10000	-9000 – 9000	100
Moyenne de l'angle solaire pour chaque pixel	Degré	Nombre entier de 16 bits	-10000	-9000 – 90000	100
Moyenne de l'angle azimutal relatif pour chaque pixel	Degré	Nombre entier de 16 bits	-4000	-3600 – 3600	10

D'après [2.3]

On trouve également de la méta-information pour chaque image et paramètres se trouvant dans le fichier HDF.

Concernant les indices de végétation, il ressort de du tableau 1 que le NDVI peut être calculé à une résolution de 250 m, car il utilise les bandes 1 et 2. Pour EVI, l'utilisation de la bande bleue (n° 3) dans l'algorithme de calcul abaisse la résolution spatiale maximale à 500 m. Cependant, cet indice est également disponible à une résolution de 250 m suite à un ré-échantillonnage. Ceci explique notre choix de n'utiliser que les images en réflectance des bandes du rouge (n° 1) et du proche infrarouge (n° 2) afin d'obtenir un remplacement optimal des placettes. De plus, cela nous confortait dans notre décision de n'utiliser que le (ou les) pixel(s) le(s) plus au centre des placettes afin d'être sûr de prendre des pixels non contaminés par une autre thématique voisine spatialement.

### 3. Les indices de végétation

#### 3.1 Bases physiques des indices de végétation

Nous allons commencer par donner un bref rappel de la structure d'une feuille à l'aide de la figure 1.

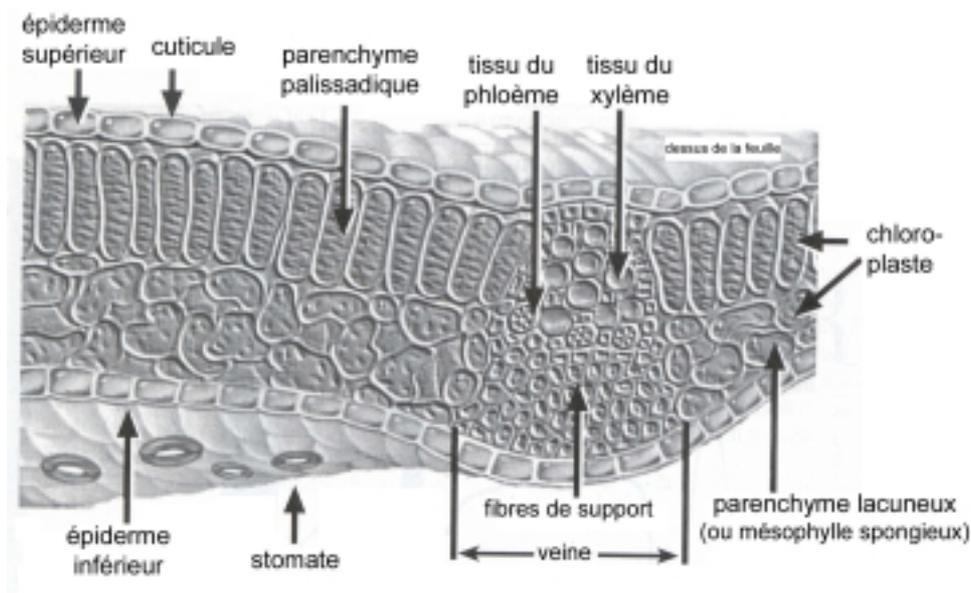


Figure 1: Coupe d'une feuille

Adapté de Jensen (2000)

Le parenchyme palissadique est le siège de la plupart des chloroplastes, organelles où se déroule la réaction de la photosynthèse. Les pigments de la chlorophylle (chlorophylle *a* et *b*) jouent un rôle essentiel dans la réaction de photosynthèse qui permet à tous les végétaux autotrophes de transformer l'énergie lumineuse en énergie stockée sous forme chimique (glucides).

Le principe de base sur lequel reposent les indices de végétation est basé sur la réponse spectrale des végétaux. Cette courbe de réponse est illustrée à l'aide de la figure 2.

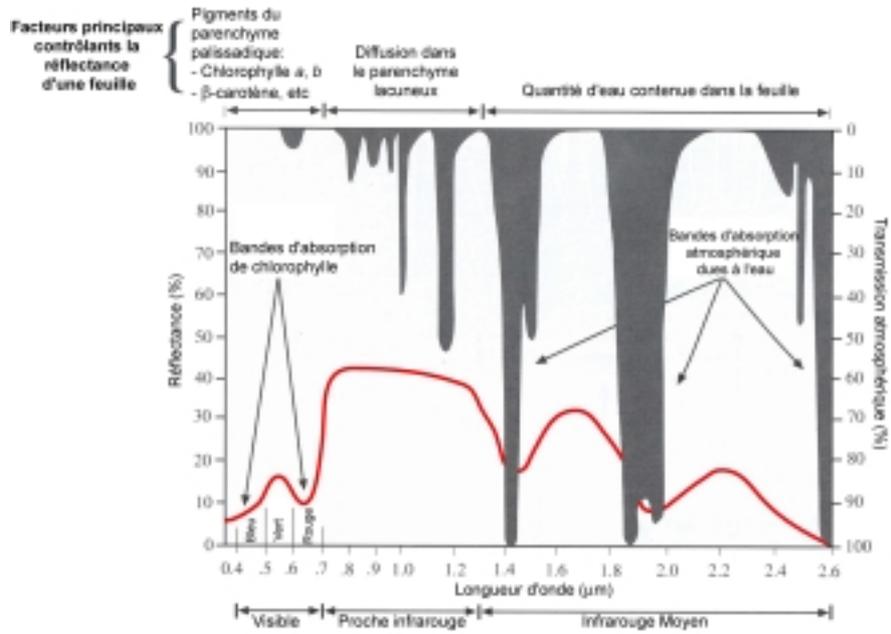


Figure 2: Courbe générale de la réponse spectrale des végétaux  
Adapté de Jensen (2000)

L'absorption des végétaux dans le visible est principalement gouvernée par la composition, la concentration et la distribution des pigments (plastides et pigments vacuolaires) dans les feuilles (Bariou *et al*, 1985). Les spectres d'absorption des principaux pigments sont illustrés dans la figure 3.

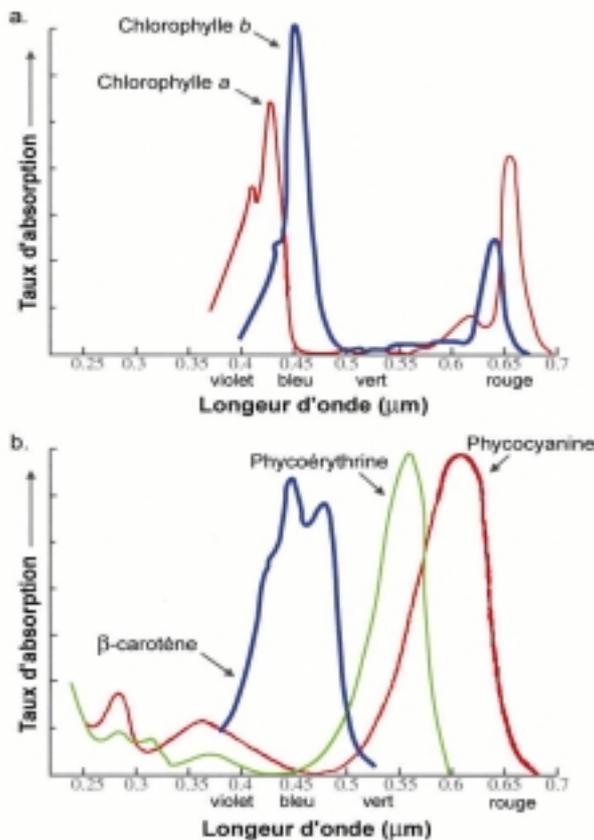


Figure 3: Spectres d'absorption des principaux pigments d'une plante  
a.) Chlorophylle a et b  
b.) Autres pigments  
Adapté de Jensen (2000)

On remarque que les bandes d'absorption des pigments *a* et *b* de la chlorophylle se recouvrent entre elles, de sorte qu'il en résulte une grande zone d'absorption dans le visible notamment dans le Bleu (90%) et dans le Rouge, couvrant environ une plage allant de 0,68 à 0,73  $\mu\text{m}$ . Cependant, le recouvrement n'est pas parfait dans le vert indiquant une réflectance plus élevée, d'où la couleur verte des végétaux chlorophylliens.

Lors d'une baisse du taux d'activité de la chlorophylle (pigments *a* et *b*) pour des raisons de sénescence naturelle ou de stress, la réflectance augmente légèrement dans le Bleu et fortement dans le Rouge (cf. figure 4). Ainsi, pour les valeurs de longueur d'onde allant de 0,35 à 0,73  $\mu\text{m}$ , ce sont les pigments qui jouent un rôle primordial.

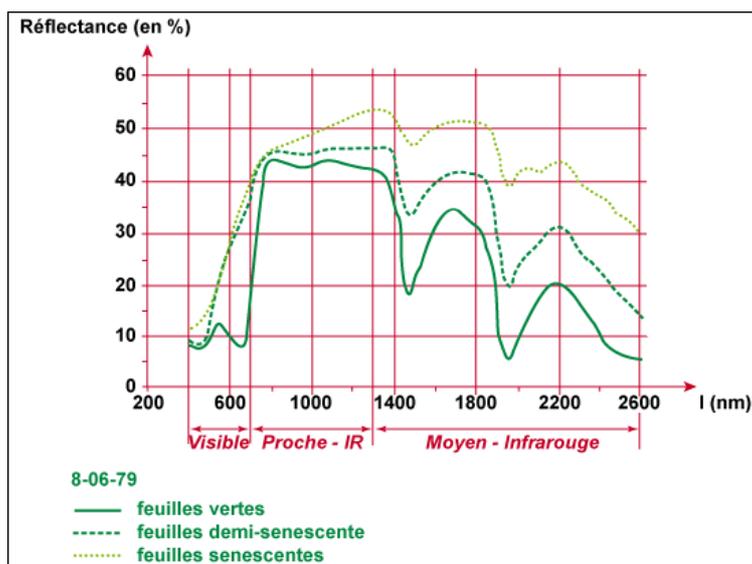


Figure 4: Effet de la sénescence sur la réflectance d'une feuille de blé

D'après <http://www.cnerta.educagri.fr/infogeo/bienvenue.htm>

L'absorption des végétaux dans le proche infrarouge (0,73 à 1,20  $\mu\text{m}$ ) est faible. Elle est gouvernée par les interactions au sein du parenchyme lacuneux (ou spongieux) du mésophylle. Ce mésophylle est composé de cellules et d'espaces intercellulaires contenant de l'air. C'est le lieu d'échange entre l'oxygène et le dioxyde de carbone pour la photosynthèse et la respiration. Pour les plantes saines, la réflectance dans le proche infrarouge est grande (entre 40 et 60 %), la transmission est également grande (entre 40 et 60%) et l'absorption est faible (entre 5 et 10%) (Jensen, 2000).

Dans l'infrarouge moyen (1,3 à 2,5  $\mu\text{m}$ ), l'absorption est principalement due à l'eau présente dans les plantes. Donc, plus une plante contiendra de l'eau, plus l'absorption sera grande dans l'infrarouge moyen. Ceci peut servir à détecter les stress hydrique. Par exemple, les plages spectrales couvertes par les bandes TM5 (1,55 à 1,75  $\mu\text{m}$ ) et TM7 (2,08 à 2,35  $\mu\text{m}$ ) des satellites Landsat-4, 5 et 7 ont été utilisées dans une étude pour détecter le stress hydrique dans une forêt de conifères (Pierce, Running, et Riggs, 1990).

On a établi depuis le début des années soixante qu'il existe un lien direct entre la réponse dans le proche infrarouge et la quantité de biomasse verte (ou chlorophyllienne). Il a été également démontré qu'il existe une relation inverse entre la réponse dans le visible (particulièrement dans le rouge) et la biomasse verte (Jensen, 2000).

Ce principe est la base sur laquelle reposent la plupart des indices de végétation et il explique également pourquoi les bandes du rouge et du proche infrarouge sont le plus souvent utilisées pour leur calcul.

Malheureusement, une canopée ne se comporte pas aussi simplement qu'une feuille isolée à cause des interactions existant en son sein. Dans une canopée, la réflectance d'une plante donnée augmente. En effet, en plus de la réflectance due au mésophylle spongieux, il faut ajouter que l'énergie transmise par une feuille peut être réfléchiée par les feuilles se trouvant en dessous. Ceci provoque une hausse significative de la réflectance de l'ensemble. La figure 5 illustre ce phénomène.

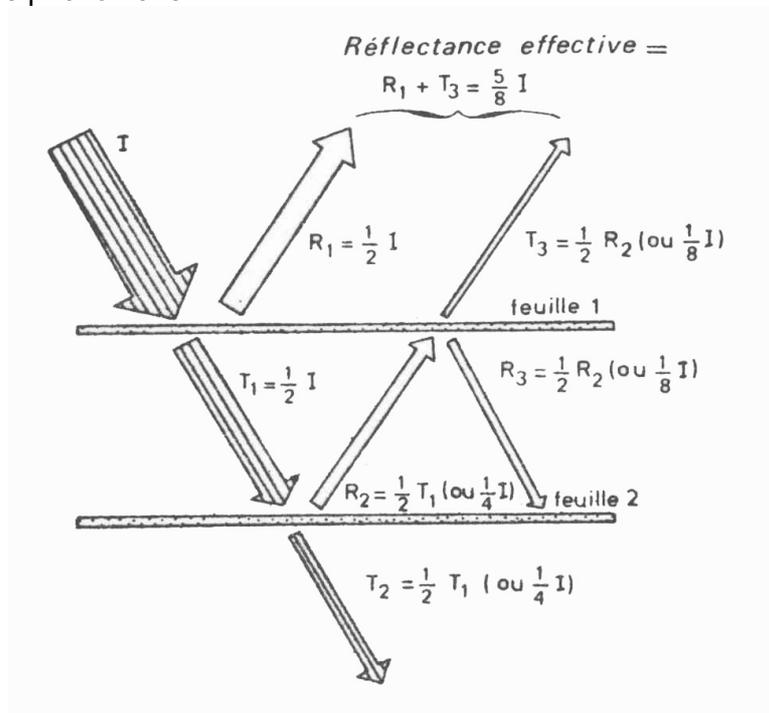


Figure 5: Schéma simplifié de l'effet de couches multiples de feuilles sur la réflectance

D'après Bariou *et al* (1985)

En outre, il y a souvent plusieurs essences composées de différents individus à des stades de croissance divers. Il y a aussi les conditions d'illumination qui interviennent et les canopées ne se comportent pas comme des surfaces lambertiennes. Plusieurs effets viennent donc troubler les mesures pour des canopées entières, provoquant une variabilité dans la réponse spectrale des végétaux.

Voici une liste non exhaustive des paramètres pouvant influencer la réponse spectrale des végétaux perçue depuis un satellite (Bariou *et al*, 1985):

- **Propriétés du végétal:**

- Au niveau de la feuille:

- Etat de la surface, la couleur ou pigmentation de la feuille, sa position, son exposition, son inclinaison.
- Conditions phénologiques et physiologiques (teneur en eau, âge de la feuille, maladie, ...)

=> Interactions de tous ces paramètres et donc complexité de l'interprétation.

- Au niveau de la plante:

- Multiplicité du nombre de couches de feuilles, hauteur de la plante
- Géométrie de la couronne (taille et forme)

=> Ces facteurs affectent l'apparence texturale de la plante.

- Au niveau de la géométrie du couvert végétal:
  - Densité du peuplement et interférence sol / végétation
  - Associations et distributions relatives des espèces dans le couvert, phénologie non uniforme des composantes du couvert.
  - Orientation (aléatoire ou non)

=> Ces paramètres déterminent le pourcentage de la réponse de la surface du feuillage, des autres parties de la plante (tronc, ...), du sol.

=> Importance de la saison de la prise de vue.
- **Géométrie de la visée:**
  - Conditions d'illumination:
    - Angle zénithal ou d'élévation solaire
    - Météorologie (vent, température de l'air, nébulosité de l'atmosphère,...)

=> Rôle sur la clarté et la distribution des ombres dans l'image.
  - Conditions de visée:
    - Angle zénithal de prise de vue, angle azimutal relatif
    - Altitude des prises de vue (avion, satellite)
  - Paramètre du capteur:
    - Sensibilité spectrale du capteur
- **Conditions de l'environnement:**
  - Effet de site (topographie, pédologie, géologie, humidité relative,...)
  - Voisinage

Il en résulte que les mesures spectrométriques faites en laboratoire sur une ou plusieurs feuilles ne correspondent que de manière imparfaite à celles effectuées sur le terrain (par radiomètre portable) ou par avion (Bariou, Lecamus et Le Henaff, 1985). Pour les satellites, l'atmosphère joue également un rôle perturbateur. En effet, le phénomène de dispersion atmosphérique peut diminuer la réflectance mesurée par un satellite de 30% par rapport à une mesure en laboratoire.

Ainsi, les indices de végétation ont-ils été créés dans le but de diminuer l'influence des facteurs d'origine non végétale sur les variations de la réponse spectrale des végétaux.

### 3.1.2 Les différents indices de végétation

La création d'indice de végétation vise donc plusieurs objectifs:

- L'estimation de la masse végétale recouvrant le sol.
- La description de l'état phénologique de la couverture végétale.
- La prévision des récoltes.
- L'évolution de la couverture végétale.

L'indice idéal serait donc sensible aux paramètres biophysiques des plantes, de préférence avec une réponse linéaire. Il serait normalisé ou peu sensible aux facteurs externes (angle solaire, atmosphère, ...). Il effectuerait une normalisation des facteurs internes (topographie, pédologie, ...). Il permettrait de faire la différence entre la végétation boisée et sénescence

(c'est-à-dire les composants non photosynthétiques). Enfin, il serait couplé à des paramètres biophysiques mesurables comme la biomasse et l'indice de surface foliaire (LAI). Tous les indices créés aspirent donc à avoir ces différentes propriétés.

Un grand nombre d'indices a été proposé. A ce jour, il en existe plus d'une vingtaine. Leurs informations sont souvent redondantes (Bariou *et al*, 1985; Girard et Girard, 1999; Jensen, 2000; Caloz et Collet, 2001). Les nuances apportées sont parfois noyées dans le bruit statistique qui affecte l'image.

L'emploi des indices requiert un examen attentif de la situation et une définition claire des renseignements que l'on souhaite extraire de l'image. Certains indices ont été développés pour des tâches bien spécifiques, alors que d'autres sont plus généraux. Le tableau 3 résume les indices les plus connus.

Tableau 3: Schéma simplifié de l'effet de couches multiples de feuilles sur la réflectance

Dénomination	Formule	Caractéristiques	Auteurs (in Girard & Girard)
Différence	$R - PIR$	Forte sensibilité aux variations atmosphériques	Monget (1980)
Rapport	$RVI = PIR / R$ ou d'autres canaux Indice pigmentaire $XS1 / XS2$ (SPOT)	Saturation aux forts indices, sensibilité à la contribution spectrale des sols et aux effets atmosphériques	Knipling (1970), Viollier et al. (1985)
Indice de végétation par différence normalisée	$NDVI = (PIR - R) / (PIR + R)$	Sensibilité aux effets atmosphériques, gamme de variation plus faible que le précédent, mais sensibilité aux variations angulaires de la visée, selon la position vis à vis du soleil (hot spot)	Rouse et al. (1974), Tucker (1979)
Indice de végétation transformé	$TVI = (NDVI + 0,5)^{1/2}$	Essai d'élimination des valeurs négatives, stabilisation de la variance	Deering et al. (1975)
Indice perpendiculaire de végétation	$PVI = (PIR - aR - b) / (a^2 + 1)^{1/2}$ où a est la pente de la droite des sols et b son ordonnée à l'origine	Diminution de la contribution spectrale des sols, mais sensibilité à diverses caractéristiques des sols	Richardson & Wiegand (1977)
Modèle "Tasseled cap"	formule générale: $a1(V) + a2(R) + a3(PIR) + a4(PIR)$ où a1, a2, a3, a4 sont des constantes dépendant du capteur (MSS ou TM)	Transformation orthogonale des 4 canaux pour réduire la sensibilité à la contribution spectrale des sols, sans pouvoir l'éliminer complètement	Kauth & Thomas (1976)
Indice de verdure (issu du précédent)	$GVI = -b1(V) - b2(R) + b3(PIR) + b4(PIR)$ où b1, b2, b3, b4 sont des constantes dépendant du capteur (MSS ou TM)		Jackson (1983)
Indice de végétation ajusté au sol	$SAVI = [(1+L) (PIR-R)] / (PIR+R+L)$ avec L = 0,5 pour diminuer l'effet du sol	De nombreux indices sont issus de celui-ci pour minimiser l'effet du sol (TSAVI, MSAVI...)	Huete (1988)
indice de végétation résistant aux effets atmosphériques	$ARVI = (PIR-RB) / (PIR+RB)$ avec $RB = R - g(B-R)$ où g est fonction du type d'aérosols	Diminue l'effet des aérosols contenus dans l'atmosphère sur le NDVI mais sensible à la contribution spectrale des sols	Kaufman & Tanre (1992)
Indice de végétation amélioré	$EVI = 2.5 [(PIR-R) / (PIR+6R - 7.5B+1)]$	Diminue l'effet des aérosols contenus dans l'atmosphère sur le NDVI et minimise l'effet du sol	Huete (1997)

Adapté de Girard & Girard (1999)

### 3.2 Les indices proposés par le capteur MODIS

- L'indice de végétation par la différence normalisée ou **NDVI** (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Il a été proposé par Rouse *et al.* (1973). Sa formule est la suivante:

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R} \quad \{1\}$$

Où    PIR    = Proche InfraRouge  
        R       = Rouge

Note:    les valeurs de PIR et R en réflectance.

#### Avantages:

- Facile à calculer (Bariou *et al.*, 1985; Caloz et Collet, 2001).
- Très utilisé, car assez générique (Jensen, 2000; Caloz et Collet, 2001).
- Normalise en partie les effets d'éclairage ou de pentes (Bariou *et al.*, 1985; Caloz et Collet, 2001).

#### Inconvénients:

- Sensible aux conditions atmosphériques (Holben, 1986) (jusqu'à 50% d'erreur)
- Sensible aux sols (Lillesaeter, 1982)
- Sature pour des couverts de végétation très denses (Runyon *et al.*, 1994; Huete *et al.*, 1997)

- L'**EVI** (*Enhanced Vegetation Index*) ou SARVI 2 (*Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index 2*)

Cet indice a été créé par Huete *et al.* (1997). Sa formule est la suivante:

$$EVI = 2.5 \frac{PIR - R}{PIR + 6R - 7.5B + 1} \quad \{2\}$$

Où    PIR    = Proche InfraRouge  
        R       = Rouge  
        B       = Bleu

Note:    les valeurs de PIR et R en réflectance.

Cet indice est sensé régler quelques inconvénients du NDVI, car il est corrigé atmosphériquement (grâce à la bande bleue) et il sature moins pour les zones à forte densité végétale (Huete *et al.*, 1997).

Avantages:

- Résistant aux variations de conditions atmosphériques.
- Ne sature pas sur les couverts à forte densité végétale.
- Corrélé avec le NDVI pour les faibles valeurs.

Inconvénients:

- Lien avec la biomasse peu connu.
- Artefacts encore peu connus.
- Sensibilité à certaines conditions atmosphériques ? (Xiao *et al.*, 2003).

## 4. Méthodologie

### 4.1 Importation des fichiers HDF

Malheureusement, le logiciel *Erdas Imagine* ne peut pas importer les fichiers HDF dans sa version 8.4, la seule à notre disposition. Nous avons donc dû passer par le logiciel *Idrisi 32* pour lequel il existe un patch téléchargeable [4.1] permettant cette opération. Une fois l'importation effectuée, nous avons sélectionné les différents produits qui nous intéressaient. Nous avons pris l'image des indices NDVI et EVI plus l'image de la qualité de l'indice (image identique pour les deux indices) comprenant des informations sur les étapes de prétraitement utilisées pour obtenir l'indice de chaque pixel\*. Puis, nous avons exporté ces trois images en format *Erdas* (\*.img).

Une fois dans *Erdas* nous avons tout d'abord créé un empilement de ces trois images :

- Bande 1 : EVI
- Bande 2 : NDVI
- Bande 3 : Qualité des indices

### 4.2 Géoréférencage

Au vu de la résolution spatiale des images (250 m), un géoréférencage précis était à exclure de part le manque de repères précis pouvant être trouvés sur la scène. Pour notre étude, il était plus important d'avoir des images se superposant parfaitement, plutôt que des images géoréférées. De plus, les images MODIS possèdent un système de géoréférencage qui leur est propre. Ce système se nomme *Integerized Sinusoïdal (ISIN) projection*. Il est analogue au système de projection sinusoïdale classique, mis à part qu'il est centré en 0° de longitude et que des coefficients spéciaux sont utilisés pour aplatir l'ellipsoïde [4.2]. Ce choix s'explique par le fait que cela simplifie les problèmes de traitement des données dus aux différentes résolutions (250, 500 et 1000 m) présentes sur les 36 bandes du capteur. Il n'était donc pas aisé d'obtenir des coordonnées que l'on pourrait après coup transformer dans un autre système de géoréférencage.

A l'aide du système *WRS path/row*, nous avons choisi la scène 196/28 obtenant ainsi une image de 4800 lignes par 4800 colonnes. Nous avons ensuite effectué un *subset* dans *Erdas* pour ne prendre que la Suisse et environs. Nous aurions pu simplement laisser les images en lignes colonnes. Cependant, nous avons préféré tout de même les projeter dans un système sinusoïdal classique donnant des valeurs métriques un peu plus représentatives de la réalité de la scène. Le tableau 4 résume les différentes étapes de cette démarche.

---

\* Pour le fonctionnement du mécanisme de codage, se référer à l'annexe 10.

Tableau 4: Transformation en différentes coordonnées

Coordonnées	Image téléchargée en ligne / colonne [pixel]	Image téléchargée en ISIN [m]	Image Erdas en ligne / colonne [pixel]	Image Erdas en ISIN [m]	Subset Erdas [pixel]	Subset géoréférencé Erdas en ISIN [m]
ULX	0	0	0.5	125	1'500.5	375'125
ULY	4'800	5'559'752.59833	4'799.5	5'559'877.59833	3'800.5	5'310'127.59833
LRX	4'800	-	4'799.5	-	3'500.5	-
LRY	0	-	0.5	-	2'200.5	-

Donc finalement, les valeurs de géoréférencage dans *Erdas* sont :

- Coordonnées du pixel en haut à gauche de l'image :  
ULX = 375'125      ULY = 5'310'127.59833
- Taille du pixel : 250 m
- Type de projection : Sinusoïdal
- *Sphere Code* = 1

### 4.3 Transformation des images brutes

Nous avons créé un modèle dans *Erdas* (cf. Figure 6) permettant la transformation des images MODIS d'indices de végétation en leurs véritables valeurs, c'est-à-dire en divisant par le facteur approprié (Tableau 2, dernière colonne).

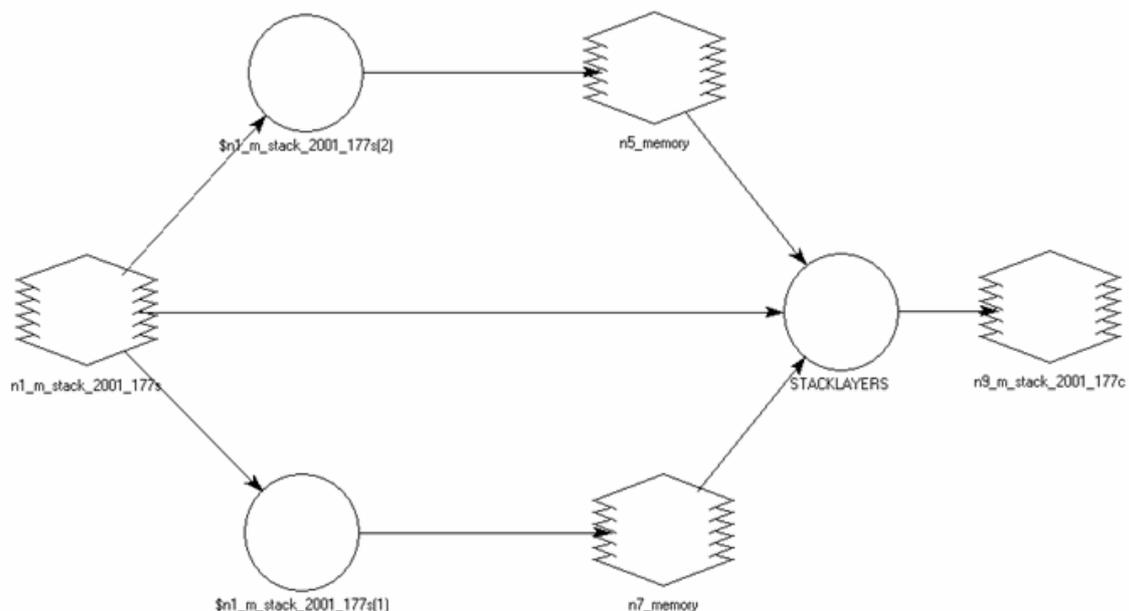


Figure 6: Schéma de transformation des images MODIS

\* D'après la méta-information du fichier HDF

Cette étape nous permet d'obtenir des images en nombre réel ayant des valeurs d'indices de végétation comprises entre -1 et 1.

#### 4.4 Remplacement des placettes (AOIs)

Comme mentionné précédemment, nous avons choisi de repositionner une partie des entités spatiales de Jaquet (2002) géoréférencées dans le système de coordonnées suisse pour lesquelles des relevés de terrain avait été effectué en 2000 et 2001. Nous avons tout d'abord trié cette base de données en fonction de l'aire de ces placettes, puis nous avons exclu toutes celles qui avaient une aire inférieure à la taille d'un pixel MODIS ( $250 \times 250 = 62\,500 \text{ m}^2$ ). Nous avons pris une petite marge et effectué la sélection à  $80\,000 \text{ m}^2$ , afin d'être quasiment sûr de pouvoir sélectionner au moins un pixel possédant une signature pure au sein de cette placette correspondant aux relevés de terrain. Vu que ces entités spatiales n'étaient pas toujours rectangulaires, nous avons également pris en compte le rapport périmètre/surface afin d'éviter les polygones de forme trop allongée.

Pour la suite, nous avons dû utiliser une petite astuce. En effet, le logiciel *Erdas*, qui est très performant pour le géoréférencage des images, ne permet pas de géoréférencer un vecteur. Nous avons donc effectué un redressement d'une image MODIS par rapport à une image Landsat elle-même géoréférencée au préalable à l'aide de la carte *topo\_25m* du canton de Genève. Puis nous avons importé cette table de transformation dans Excel et nous l'avons sauvé au format \*.dbf. Nous l'avons nommée *table\_transfo\_ge-modis.dbf*. Par la suite, dans le logiciel *ArcView 3.2*, il est possible (à l'aide du script *ShapeWarp 2.2*<sup>\*</sup>) de géoréférencer les vecteurs. Cette fonction permet également d'utiliser un fichier *dbf* pour effectuer ce géoréférencage. Il nous a donc été possible de transformer le vecteur existant des placettes de relevé de terrain pour pouvoir les superposer sur les images MODIS. Puis, quelques réajustements manuels ont été nécessaires pour éviter de prendre des mixels. Enfin, ce vecteur nommé *aoi\_modis\_fin.shp* a été transformé en AOIs (*es\_modis\_final.aoi*) dans lesquelles les signatures spectrales ont été récoltées.

## 5. Résultats et discussion

Au final, cinquante et une placettes ont pu être replacées sur les images MODIS. Les identificateurs de ces placettes ainsi que leurs relevés de terrain sont résumés dans le tableau 5.

Les tableaux contenant les valeurs des indices de végétation EVI et NDVI se trouvent dans les annexes 1, 2 pour 2000 et 3, 4 pour 2001.

---

\* <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=10088>

Tableau 5: Descriptif des placettes replacées sur les images MODIS

ID	Description 2000	2001	nombre de pixels
es_967	feuill_ornex	?	10
es_961	chenaie_mouret	?	10
es_968	mixte_Montchanais	?	16
es_955	petit_lac (eau pelagique)	?	85
es_441	eau_cotiere (Versoix)	?	5
es_378	?	ble_automne1	2
es_376	?	tournesol1	1
es_383	?	paturage1	1
es_377	?	orge	3
es_341	?	paturage2	1
es_365	?	pois	1
es_393	?	paturage3	4
es_398	?	ble_automne2	1
es_962	feuillu_aeroport	?	11
modis_7	palexpo	?	2
modis_6	piste_aeroport	?	34
es_487	prairie	?	1
es_978	vigne1	?	2
es_979	vigne2	?	1
es_977	vigne3	?	4
es_970	feuill_chateau_des_bois	?	6
modis_9	rhone (Verboix)	?	4
es_954	villas_cologny	?	8
es_329	sol_nu	colza	2
es_139	mais	ble_automne3	1
es_136	ble	tournesol2	2
es_141	tournesol	ble_automne4	4
es_950	mixte_voirons	?	16
es_181	prairie (artificielle)	herbes +/- sèches	1
es_990	villas_foron	?	3
es_949	villas_thonex	?	4
es_948	urbain_annemasse	?	12
es_959	urbain_rive gauche	?	4
modis_11	urbain_rive droite	?	4
es_965	industriel_praille	?	11
es_287	cereales	?	2
es_952	feuill_derr_saleve	?	51
es_951	conif_derr_saleve	?	3
modis_10	feuill_derr_pt_saleve	?	17
modis_12	conif_pied_voirons	?	1
modis_14	feuill_vegy	?	12
modis_13	feuill_jussy	?	12
modis_15	gd_lac1	?	510
modis_16	gd_lac2	?	760
modis_17	lac_embouchure_rhone	?	670
modis_4	feuill_versoix1	?	9
modis_2	feuill_versoix2	?	8
modis_3	conif_versoix	?	2
modis_1	conif_gex	?	6
modis_8	feuill_jura	?	24
modis_5	mixte_jura	?	20

La totalité des graphiques obtenus à partir de ces données regroupées par thème de la couverture du sol se trouvent dans les annexes 5 et 6 pour 2000, respectivement 7 et 8 pour 2001.

En plus des valeurs d'indices, le codage de qualité des indices de végétation a également été utilisé afin de déterminer la confiance que l'on peut accordé aux valeurs d'indices obtenues pour une date donnée. Le graphique de la figure 7 donne les valeurs obtenues sur l'année 2000 pour le codage de qualité des indices. A l'aide de l'annexe 11 permettant le décodage de ce nombre, il est alors possible de déterminer que la qualité des indices de végétation est inférieure pour la date du 01.07.00 à celle des images précédentes et suivantes suite à une forte teneur en aérosols au sein de l'atmosphère. La légère baisse de valeur d'EVI observée pour cette date (cf. annexe 5, graphique EVI\_conif) est donc d'origine atmosphérique et non pas végétale. Cet exemple souligne bien l'intérêt de l'utilisation de cette métadonnée lors de l'analyse des résultats, afin de pouvoir discerner de manière précise la cause d'une variation d'indice de végétation observée.

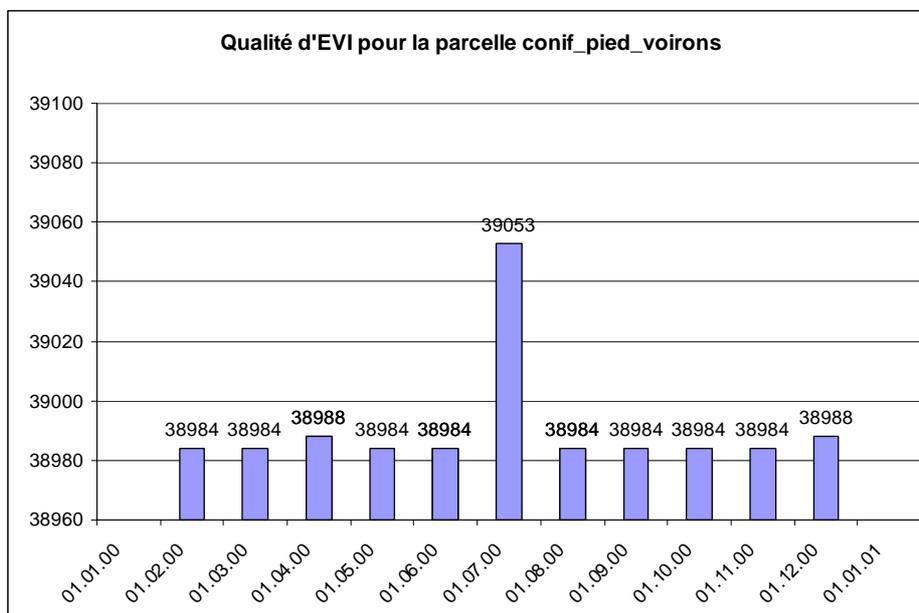


Figure 7: Codage de qualité des indices de végétation

En prenant en compte les valeurs des indices et de leur qualité, nous avons pu tirer plusieurs informations de nos résultats :

- Les feuillus :
  - Au niveau des indices : nous avons observé que l'EVI permet de mettre très clairement en évidence le démarrage de la feuillaison au moment du printemps et ce pour les années 2000 et 2001. Ce phénomène est également perceptible avec le NDVI, mais de façon plus faible. On voit également que l'EVI montre une baisse d'activité chlorophyllienne à partir du mois d'août 2000, comme observé précédemment avec des images Landsat (Brun, 2003). L'EVI est donc bien l'indice le plus approprié pour observer les feuillus.
  - Au niveau inter-annuel : en 2001 les valeurs de l'EVI sont un peu plus élevées. Il est vrai que l'hiver 2001 a été particulièrement pluvieux et assez doux, ce qui a peut-être permis à la végétation de la strate herbacée de se maintenir tout l'hiver. Le démarrage de la feuillaison est également un peu plus précoce (d'une dizaine de jours) en 2001.

- La forêt mixte :

Nos résultats sont similaires à ceux des feuillus, avec des valeurs toutefois plus faibles.
- Les conifères :
  - Au niveau des indices : Le NDVI est assez constant tout au long de l'année (sauf pour une date en 2001, probablement présence de nuages par endroit). Les valeurs de NDVI sont beaucoup plus élevées que celles d'EVI. Ce dernier permet de mettre en évidence des variations annuelles. Une baisse à partir du mois d'août 2000 est également observable avec EVI.
  - Au niveau inter-annuel : Pour l'EVI et le NDVI, les valeurs de 2000 et 2001 sont comparables (~0.35 en hiver et ~0.55 en été pour l'EVI et ~0.85 pour le NDVI durant toute l'année).
- L'eau :
  - Au niveau des indices : les valeurs de NDVI sont totalement chaotiques pour les deux années. L'EVI, probablement grâce à l'utilisation de la bande bleue, a des valeurs constantes au cours de l'année. Pour les zones peu profondes, les valeurs varient légèrement au cours du temps. Le Rhône (Verbois) et la zone côtière semblent être contaminés (mixels) par la végétation terrestre.
  - Au niveau inter-annuel : Les valeurs d'EVI sont similaires.
- La vigne :
  - Au niveau des indices : La signature annuelle des vignes pour l'EVI est similaire en valeurs et en variations à celle des conifères, et assez proche de celle des zones viticoles. Ceci est probablement dû à la présence de sol plus ou moins nu entre les rangées, qui abaisse le niveau de l'indice. Pour le NDVI, la confusion avec les conifères n'existe pas, mais celle avec les zones viticoles persiste.
  - Au niveau inter-annuel : Le démarrage de la feuillaison est également un peu plus précoce en 2001, mais la variation des valeurs entre les saisons reste la même.
- L'agricole :
  - Au niveau des indices : le NDVI et l'EVI sont assez similaires en valeurs et en variations au cours du temps. On remarque que l'on peut distinguer assez aisément les champs de tournesols de ceux de céréales en 2000. En 2001, les pois semblent avoir une signature annuelle un peu différente des autres cultures.
  - Au niveau inter-annuel : pas de comparaison directe possible entre 2000 et 2001 car nous ne possédions pas des relevés de terrain pour une même parcelle sur les deux années. Par contre, nous pouvons dire que la signature annuelle du tournesol ne se distingue pas aussi facilement des céréales en 2001 qu'en 2000. Les causes de cette variation peuvent aussi bien venir du changement de parcelle, d'une autre date de semence, que de facteurs météorologiques.
- L'urbain :

Nous avons pris des mesures dans ce thème, car il est souvent utilisé afin de déterminer des cibles constantes au sein d'une image. Ces cibles constantes peuvent servir, entre autre, à effectuer des corrections atmosphériques basées sur l'image. Il ressort de ces mesures que le toit de Palexpo n'est pas constant au cours d'une année. Cela provient sûrement du fait qu'il doit partiellement se végétaliser au cours de l'année (mousses). Les zones du centre ville de Genève (urbain rive gauche et droite) et la zone industrielle de la Praille sont constantes. Par contre, l'urbain d'Annemasse et la piste de l'aéroport de Cointrin possèdent un peu de végétation. Dans le cas de la piste de l'aéroport, la présence de pelouses au voisinage et entre les pistes semblent avoir un effet perturbateur sur la mesure, même pour la résolution d'image optimale (250 m) du capteur MODIS.

Du point de vue inter-annuel, comme nous avons pu le voir, il est difficile pour nous de tirer véritablement des conclusions de part le fait que nous n'avions à disposition que la moitié de l'années 2001. De plus, au cours du mois de juin de cette année 2001, le capteur MODIS a eu quelques problèmes techniques (au niveau du système d'alimentation en énergie) qui ont perturbé les mesures durant tout l'été.

Nous avons également déduit de nos résultats, pour l'année 2000, une signature moyenne de différentes thématiques de couverture du sol pour lesquelles nous possédions plusieurs placettes. Ces signatures se trouvent dans l'annexe 9. La signature moyenne obtenue pour les feuillus est illustrée par la figure 8. Sur cette figure la moyenne est représentée par la courbe bleue et les traits verts et rouges représentent l'erreur sur la moyenne. Autrement dit, une courbe quelconque qui passerait entre tous les traits rouges et verts serait également une signature d'un feuillu.

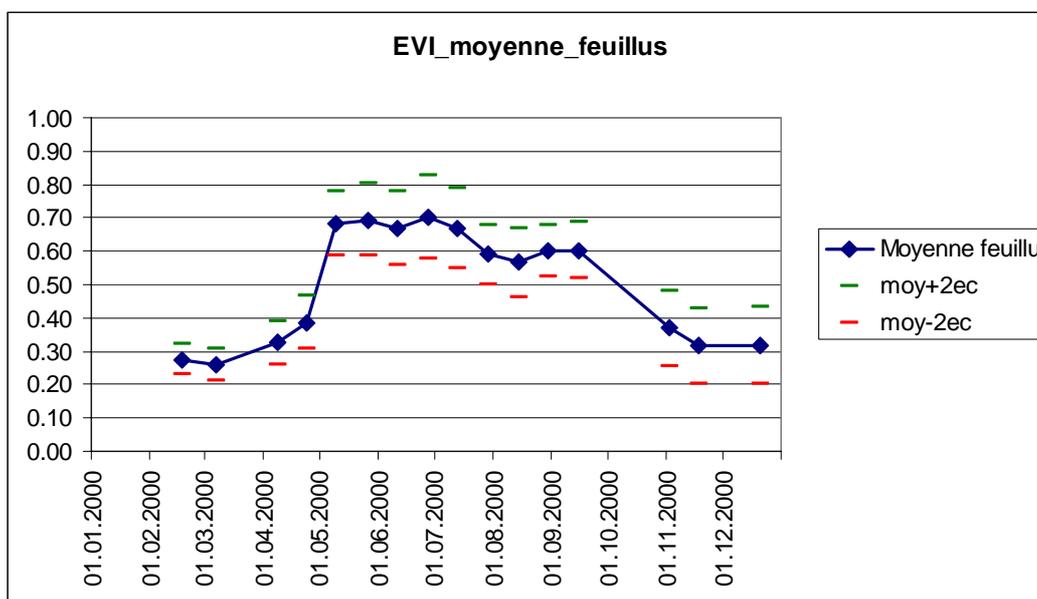


Figure 8: Signature moyenne de l'EVI pour les feuillus lors de l'années 2000

Une telle courbe moyenne peut avoir plusieurs utilités, comme par exemple la détection de variations entre les années ou la reconnaissance d'un thème donnée de la couverture du sol au sein d'une image.

## 6. Conclusions

### 6.1 Bilan du stage

Toute la difficulté de l'utilisation du capteur MODIS pour l'observation de la couverture du sol en région genevoise provient du fait que sa résolution maximale de 250 m n'est pas toujours très adaptée à ce type de région assez dense où les parcelles agricoles (et cadastrales en général) sont petites. Nous avons tout de même pu replacer les placettes les plus grandes pour lesquelles nous avons des relevés de terrain. Cette table de transformation (*table\_transfo\_ge-modis.dbf*) peut maintenant être utilisée pour tout remplacement d'un objet géoréférencé en coordonnées suisses sur une image MODIS.

Du point de vue intra-annuel, nous avons démontré que ce capteur, de part sa grande fréquence de passage, est totalement adapté pour effectuer un suivi de la couverture du sol. Il permet de mettre en évidence, par exemple, le démarrage des différentes cultures au cours de l'année. Nous avons également pu montrer au sein des forêts de feuillus et de conifères les variations annuelles des indices. L'étude de certaines couvertures du sol, dites constantes, comme par exemple l'urbain, montre que pour certaines des variations sont tout de même observables. Ceci peut venir de perturbations externes, telles que les conditions atmosphériques pas parfaitement corrigées, mais aussi de facteurs internes comme les variations annuelles du peu de végétation tout de même présent.

Du point de vue inter-annuel, malheureusement notre étude a été passablement gênée par le fait que les images d'indices de végétation pour la région ne semblent être disponibles qu'avec deux ans de retard. Il ne nous donc pas été possible d'obtenir des images pour 2002 et 2001 n'a pu être utilisée que pour la première moitié de l'année, nous empêchant de faire des comparaisons pertinentes entre 2000 et 2001. Mais nous avons vu au cours de ce stage qu'un nouveau fichier HDF est produit chaque semaine, ce qui laisse bon espoir que ce délai se raccourcisse dans un futur proche.

## 6.2 Perspectives

A la fin de notre travail, plusieurs voies nous semblent encore à explorer :

- Continuer de collecter des images pour 2001 et 2002, et les signatures des placettes qui en découlent.
- Essayer d'en déduire une signature moyenne annuelle pour les différents types de couverture du sol afin de créer une base de données.
- Développer une technique permettant déterminer le type de couverture du sol présent sur une image, en comparant sa signature annuelle avec les signatures moyennes présentes dans cette base de données.
- Utiliser ces signatures moyennes pour déterminer les périodes les plus intéressantes pour la prise de photos aériennes permettant la meilleure observation du ou des type(s) de couverture du sol que l'on aimerait étudier.
- Effectuer des comparaisons inter-annuelles afin de :
  1. Mesurer l'ampleur des différences pouvant exister entre les années
  2. Essayer de leur donner une explication (pluviométrie, températures)
  3. Mettre en évidence une évolution au sein des catégories de couverture du sol, comme par exemple un décalage dans le temps de la feuillaison des arbres au cours des ans.

## 7. Références

### 7.1 Sites Internet

- [2.1] <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specs.html>
- [2.2] <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>
- [2.3] <http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod13q1.html>
- [4.1] <http://www.clarklabs.org/Downloads.asp?cat=2>
- [4.2] <http://edcdaac.usgs.gov/tools/modis/info/index.html>

### 7.2 Références bibliographiques

Bariou, R., D. Lecanu et F. Le Henaff (1985). Dossier de télédétection: réponse spectrale des végétaux. Rennes, Université de Rennes, vol.2, 71.

Brun, J. (2003). Suivi de l'évolution temporelle de la biomasse verte forestière à l'aide d'indices satellitaires de végétation. Diplôme DESNE, Faculté des Sciences (UTED-S). Genève, Université de Genève: 120.

Caloz, R. et C. Collet (2001). Précis de Télédétection: Traitements Numériques d'images de télédétection. AUF, Presses de l'Université du Québec, vol. 3.

Girard, M.C. et C.M. Girard (1999). Traitement des données de télédétection. Paris.

Holben, B. (1986). "Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data." *International Journal of Remote Sensing* 7: 1417 - 1434.

Huete, A.R., H.Q. Liu, K. Batchily et W. Van Leeuwen (1997). "A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS." *Remote Sensing of the Environment* 59(3): 440-451.

Jaquet, J.-M. (2002). Cartographie multi-sources de la couverture du sol: méthodologie et résultats. Genève, UTED-S.

Jensen, J.R. (2000). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*, Geographic information science, Prentice Hall.

Lillesaeter, O. (1982). "Spectral reflectance of partly transmitting leaves: laboratory measurements and mathematical modelling." *Remote Sensing of the Environment* 12: 247-254.

McDonald, A.J., F.M. Gemmell et P.E. Lewis (1998). "Investigation of the Utility of Spectral Vegetation Indices for determining Information on Coniferous Forests." *Remote Sensing of Environment* 66: 250-272.

Pierce, L.L., S.W. Running et G.A. Riggs (1990). "Remote Detection of Water Stress in Coniferous Forest Using NS001 Thematic Mapper Simulator and the Thermal Infrared Multispectral Scanner." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 56(5): 571-586.

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell et D.W. Deering (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of Third Earth Resources Technology Satellite Symposium*, Washington, D.C., NASA.

Runyon, J., R.H. Waring, S.N. Goward, et J.M. Welles (1994). "Environmental limits on net primary production and light-use efficiency across the Oregon transect." *Ecol. Appl.* 4: 226-237.

Song, C., Woodcock, C. E., Seto, K. C., Lenny, M. P. et Macomber, S. A. (2001). "Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?" *Remote Sensing Environment* 75: 230 - 244.

Xiao, X., B. Braswell, Q. Zhang, S. Boles, S. Frolking et B. Moore (2003). "Sensitivity of vegetation indices to atmospheric aerosols: continental-scale observations in Northern Asia." *Remote Sensing of the Environment* 84: 385-392.

# Annexes

## Liste des annexes :

- Annexe 1 : Moyenne des valeurs d'EVI au sein des placettes pour l'année 2000
- Annexe 2 : Moyenne des valeurs d'NDVI au sein des placettes pour l'année 2000
- Annexe 3 : Moyenne des valeurs d'EVI au sein des placettes pour l'année 2001
- Annexe 4 : Moyenne des valeurs d'NDVI au sein des placettes pour l'année 2001
- Annexe 5 : Evolution de l'indice EVI au cours de l'année 2000
- Annexe 6 : Evolution de l'indice NDVI au cours de l'année 2000
- Annexe 7 : Evolution de l'indice EVI au cours de l'année 2001
- Annexe 8 : Evolution de l'indice NDVI au cours de l'année 2001
- Annexe 9 : Signature annuelle moyenne de l'EVI
- Annexe 10 : Mécanisme du codage de la qualité des indices de végétation de MODIS
- Annexe 11: Table de transformation du codage de la qualité des indices de végétation de MODIS

# Annexe 1

## Moyenne des valeurs d'EVI au sein des placettes pour l'années 2000

ID	Description 2000	nbre de pixel	18.02.00	07.03.00	08.04.00	24.04.00	09.05.00	26.05.00	11.06.00	27.06.00	13.07.00	29.07.00	14.08.00	30.08.00	15.09.00	02.11.00	18.11.00	20.12.00
es_967	feuil ornex	10	0.2376	0.2241	0.3347	0.3898	0.7371	0.7655	0.7495	0.7684	0.7022	0.6254	0.5695	0.5867	0.5881	0.3501	0.2724	0.2548
es_961	chenaie mouret	10	0.3176	0.2941	0.3120	0.3575	0.7000	0.7761	0.7391	0.7890	0.7409	0.6259	0.6660	0.6429	0.6730	0.3974	0.3609	0.3608
es_968	mixte_Monichanais	16	0.4461	0.2755	0.3447	0.3495	0.5984	0.6630	0.6374	0.6210	0.7189	0.5228	0.5400	0.5183	0.5795	0.4117	0.4249	0.4727
es_955	petit lac (eau pelagique)	85	0.0076	0.0100	0.0120	0.0325	0.0400	0.0254	0.0077	0.1418	0.0196	0.0343	0.0173	0.0214	0.0172	0.0838	0.0263	0.0360
es_441	eau_cotiere (Versoix)	5	0.0168	0.0001	0.0197	0.0532	0.0737	0.1477	0.1589	0.1117	0.1324	0.1108	0.0179	0.1051	0.0477	0.0912	0.0431	0.1149
es_378	?	2	0.1879	0.1991	0.3192	0.3170	0.5047	0.5137	0.5818	0.5920	0.5364	0.5431	0.2855	0.4524	0.4296	0.3301	0.2670	0.3585
es_376	?	1	0.2840	0.2669	0.5800	0.5093	0.6675	0.6244	0.4867	0.3441	0.4003	0.5292	0.2965	0.3344	0.2941	0.4783	0.4990	0.3751
es_383	?	1	0.2717	0.3398	0.5426	0.5867	0.6884	0.7100	0.5443	0.5296	0.3060	0.3264	0.4102	0.2531	0.4761	0.9205	0.4569	0.3508
es_377	?	3	0.2543	0.3496	0.5522	0.5307	0.6067	0.6389	0.5167	0.3750	0.3227	0.3823	0.2382	0.2332	0.3584	0.5546	0.4263	0.4083
es_341	?	1	0.3301	0.2969	0.5138	0.5673	0.6193	0.5600	0.5829	0.4646	0.4896	0.4636	0.4746	0.4981	0.5139	0.4449	0.3808	0.4487
es_365	?	1	0.2303	0.2796	0.5266	0.6365	0.6543	0.8051	0.4788	0.3935	0.2180	0.2557	0.2659	0.4449	0.4969	0.3595	0.5345	0.4106
es_393	?	4	0.2592	0.3348	0.6283	0.6283	0.7223	0.6495	0.5265	0.4036	0.5707	0.5034	0.3595	0.5403	0.6284	0.3076	0.3576	0.4449
es_398	?	1	0.2236	0.3379	0.3286	0.5312	0.5145	0.5301	0.4382	0.5629	0.5867	0.5427	0.3793	0.3137	0.3769	0.2312	0.3385	0.4362
es_962	feuil aeroport	11	0.2938	0.2354	0.3986	0.5235	0.6719	0.6902	0.5855	0.6079	0.6421	0.6130	0.5715	0.5935	0.6366	0.4266	0.3548	0.3920
modis_7	palexpo	2	0.0864	0.2442	0.2075	0.1161	0.3716	0.2021	0.2035	0.2017	0.2484	0.1547	0.1082	0.1882	0.1868	0.1347	0.1143	0.1629
modis_6	piste aeroport	34	0.1462	0.1334	0.2335	0.2745	0.2682	0.2664	0.2435	0.2269	0.2081	0.2033	0.1876	0.2254	0.2332	0.1848	0.1552	0.2172
es_487	prairie	1	0.4343	0.4343	0.8201	0.7506	0.8198	0.4628	0.4123	0.3746	0.5273	0.5197	0.4625	0.5085	0.5231	0.5257	0.5276	0.2885
es_978	vigne1	2	0.1830	0.2190	0.2612	0.2545	0.3866	0.4462	0.4760	0.3913	0.4594	0.3953	0.3651	0.3845	0.4544	0.3635	0.2810	0.2200
es_979	vigne2	1	0.2746	0.2509	0.3764	0.3410	0.4099	0.4249	0.4782	0.4578	0.4636	0.4257	0.3196	0.4056	0.4144	0.3929	0.3679	0.3348
es_977	vigne3	4	0.2274	0.2181	0.2785	0.3216	0.4831	0.4014	0.3375	0.3087	0.3783	0.3064	0.3445	0.3888	0.4161	0.3251	0.3178	0.2610
es_970	feuil_chateau_des_bois	6	0.2336	0.2248	0.3662	0.4273	0.6927	0.6620	0.6442	0.7817	0.7528	0.6590	0.5955	0.6563	0.6196	0.3561	0.2823	0.3178
modis_9	rhone (Verboix)	4	0.0623	0.1295	0.1169	0.1666	0.4242	0.3736	0.3288	0.3632	0.2736	0.2879	0.3350	0.2096	0.2392	0.1527	0.1392	0.1140
es_954	villas_cologny	8	0.1915	0.2614	0.3231	0.3380	0.4259	0.4596	0.4072	0.4687	0.4559	0.3993	0.3428	0.3832	0.3716	0.2611	0.2411	0.2206
es_329	sol_nu	2	0.2064	0.2246	0.6076	0.6000	0.7219	0.7232	0.6541	0.4980	0.2629	0.2074	0.2155	0.3084	0.5334	0.4679	0.4637	
es_139	mais	1	0.1654	0.2747	0.4391	0.4114	0.3119	0.3949	0.3665	0.8959	0.4430	0.6035	0.4209	0.4462	0.5216	0.3085	0.3076	0.3865
es_136	ble	2	0.1288	0.2742	0.4476	0.5536	0.6884	0.6312	0.6330	0.3608	0.3519	0.3357	0.3383	0.2856	0.3703	0.6111	0.6372	0.5675
es_141	tournesol	4	0.1188	0.1847	0.3027	0.4843	0.4751	0.5339	0.6004	0.6671	0.4228	0.5743	0.3375	0.3262	0.3631	0.2301	0.2229	0.3757
es_950	mixte_voirons	16	0.1987	0.2105	0.2716	0.2929	0.6125	0.6170	0.6381	0.5875	0.6070	0.4916	0.4692	0.4769	0.4616	0.2418	0.1868	0.3348
es_181	prairie (atficielle)	1	0.2911	0.2320	0.6097	0.5617	0.6606	0.5866	0.4109	0.4161	0.5607	0.5262	0.3938	0.4884	0.5064	0.4853	0.4822	0.4037
es_990	villas_foron	3	0.2357	0.2266	0.3073	0.3734	0.4257	0.4374	0.4004	0.3634	0.4135	0.3526	0.3075	0.3618	0.3539	0.2791	0.2901	0.2761
es_949	villas_thonex	4	0.2331	0.2267	0.3347	0.3942	0.4391	0.4142	0.4047	0.3892	0.4318	0.3684	0.3205	0.3811	0.3647	0.2842	0.2936	0.3184
es_948	urbain_annemasse	12	0.0833	0.1141	0.1376	0.2005	0.2330	0.2284	0.2164	0.1891	0.2032	0.1696	0.1679	0.1714	0.1891	0.1158	0.1133	0.1404
es_959	urbain_rive_gauche	4	0.0506	0.0484	0.0566	0.0866	0.1298	0.0906	0.0927	0.0943	0.0935	0.0841	0.0871	0.0873	0.1088	0.0563	0.0511	0.0550
modis_11	urbain_rive_droite	4	0.0541	0.0379	0.0652	0.0790	0.0895	0.1096	0.0820	0.0904	0.1020	0.0734	0.0852	0.0815	0.0842	0.0596	0.0595	0.0976
es_965	industriel_praille	11	0.0507	0.0923	0.0866	0.1213	0.1273	0.1252	0.1453	0.1170	0.1520	0.1037	0.1088	0.1153	0.1132	0.0842	0.0637	0.0914
es_287	cereales	2	0.1808	0.2442	0.4989	0.4462	0.7422	0.6024	0.4638	0.2274	0.2167	0.2365	0.2322	0.2649	0.2060	0.3289	0.3710	0.3509
es_952	feuil_derr_saleve	51	0.2985	0.2907	0.2806	0.2905	0.6525	0.7492	0.7367	0.7199	0.7312	0.6500	0.6620	0.6874	0.6681	0.3762	0.4447	0.3253
es_951	conif_derr_saleve	3	0.3577	0.3047	0.2903	0.3458	0.5305	0.5138	0.5172	0.5111	0.5191	0.4973	0.4876	0.5370	0.4798	0.3932	0.4352	0.1936
modis_10	feuil_derr_pt_saleve	17	0.2523	0.2451	0.2947	0.3701	0.6742	0.6713	0.7029	0.6484	0.6727	0.5801	0.5389	0.6233	0.6062	0.3509	0.2984	0.2740
modis_12	conif_pied_voirons	1	0.3088	0.2553	0.4894	0.4391	0.4857	0.5634	0.5912	0.5444	0.5760	0.4635	0.3853	0.4755	0.4467	0.3501	0.3553	0.3493
modis_14	feuil_vegy	12	0.2076	0.1982	0.2862	0.3536	0.7625	0.7267	0.6990	0.7202	0.6781	0.5956	0.5628	0.6130	0.5799	0.2819	0.2117	0.2622
modis_13	feuil_jussy	12	0.2245	0.2376	0.3441	0.4372	0.7353	0.6988	0.7124	0.6986	0.7000	0.6149	0.5870	0.5966	0.6293	0.3552	0.2744	0.2696
modis_15	gd_lac1	510	0.0052	0.0110	0.0037	0.0260	0.0044	0.0052	0.0122	0.0359	0.0116	0.0143	0.0141	0.0232	0.0161	0.0166	0.0233	0.0127
modis_16	gd_lac2	760	0.0035	0.0087	0.0042	0.0100	0.0014	0.0258	0.0082	0.0148	0.0219	0.0097	0.0067	0.0229	0.0172	0.0095	0.0080	0.0063
modis_17	lac_embouchure_rhone	670	0.0046	0.0088	0.0023	0.0070	0.0091	0.0249	0.0151	0.0179	0.0161	0.0298	0.0031	0.0221	0.0206	0.0186	0.0099	0.0185
modis_4	feuil_versoix1	9	0.2523	0.2441	0.2991	0.3323	0.6232	0.6496	0.6400	0.7000	0.6072	0.5393	0.5127	0.5346	0.5302	0.3351	0.2673	0.2734
modis_2	feuil_versoix2	8	0.2675	0.2868	0.3531	0.4281	0.7258	0.7005	0.7139	0.7704	0.6467	0.5890	0.5372	0.6807	0.5754	0.4034	0.3011	0.3203
modis_3	conif_versoix	2	0.3172	0.2800	0.3857	0.5717	0.5538	0.4929	0.5724	0.5014	0.4176	0.3994	0.4093	0.5130	0.3864	0.3102	0.2579	
modis_1	conif_gex	6	0.3773	0.3190	0.4412	0.3762	0.4959	0.5443	0.4983	0.5225	0.5585	0.4178	0.4172	0.5188	0.5212	0.4429	0.4531	0.3744
modis_8	feuil_jura	24	0.3988	0.3720	0.3446	0.3394	0.6573	0.6670	0.6238	0.6398	0.6420	0.5622	0.5875	0.5829	0.5972	0.3979	0.4022	0.5188
modis_5	mixte_jura	20	0.4112	0.3068	0.3322	0.3378	0.5479	0.6492	0.5832	0.5720	0.5965	0.4821	0.5205	0.4587	0.5260	0.3870	0.3837	0.3655

# Annexe 2

## Moyenne des valeurs d'NDVI au sein des placettes pour l'années 2000

ID	Description 2000	nbre de pixel	18.02.2000	07.03.2000	08.04.2000	24.04.2000	09.05.2000	26.05.2000	11.06.2000	27.06.2000	13.07.2000	29.07.2000	14.08.2000	30.08.2000	15.09.2000	02.11.2000	18.11.2000	20.12.2000
es_967	feuill_ornex	10	0.5200	0.4705	0.6619	0.6787	0.9068	0.9054	0.9055	0.9445	0.9042	0.9135	0.8484	0.8508	0.8912	0.6690	0.6916	0.6673
es_961	chenaie_mouret	10	0.6421	0.5218	0.6423	0.6666	0.9108	0.8981	0.9184	0.9424	0.9011	0.8879	0.8932	0.8966	0.8978	0.6792	0.5674	0.7244
es_968	mixte_Montchanais	16	0.7907	0.7025	0.7083	0.7020	0.8584	0.8885	0.9089	0.8813	0.8859	0.8742	0.8707	0.8699	0.8254	0.8337	0.7729	0.7461
es_955	petit_lac (eau pelagique)	85	0.0732	0.4417	0.4738	0.6894	0.5784	0.4633	0.0958	0.5570	0.5666	0.4039	0.2323	0.7359	0.6046	0.2081	0.3060	0.3672
es_441	eau_cotiere (Versoix)	5	0.1039	-0.0137	0.1716	0.3380	0.6959	0.7733	0.7611	0.5901	0.6232	0.5162	0.1934	0.6412	0.7378	0.5403	0.5397	0.6994
es_378	?	2	0.3536	0.3720	0.5532	0.4822	0.6568	0.6637	0.8038	0.7279	0.7582	0.7949	0.4727	0.6673	0.6100	0.5983	0.5455	0.6783
es_376	?	1	0.4827	0.4915	0.8084	0.6933	0.7899	0.7623	0.7574	0.4795	0.6441	0.7258	0.4829	0.5386	0.4939	0.7884	0.8017	0.6715
es_383	?	1	0.4843	0.4810	0.7862	0.7782	0.8119	0.8129	0.8105	0.7000	0.5472	0.5493	0.6068	0.4391	0.6112	0.8144	0.7652	0.6775
es_377	?	3	0.4362	0.5161	0.7905	0.7281	0.7382	0.7937	0.7709	0.5210	0.5649	0.5940	0.3973	0.3936	0.5794	0.7072	0.6847	0.6950
es_341	?	1	0.5416	0.4909	0.7608	0.8021	0.8827	0.8219	0.7833	0.6724	0.7269	0.7663	0.7190	0.7733	0.8360	0.7990	0.7694	0.6945
es_365	?	1	0.3917	0.4404	0.7740	0.8504	0.8439	0.8582	0.7237	0.6009	0.3410	0.4023	0.4187	0.6047	0.6876	0.8496	0.7818	0.7099
es_393	?	4	0.4592	0.5507	0.7766	0.8262	0.8389	0.8233	0.7704	0.5523	0.7090	0.6842	0.5511	0.7185	0.7685	0.6507	0.6313	0.6611
es_398	?	1	0.3947	0.5731	0.5391	0.7615	0.7585	0.7865	0.6766	0.6758	0.6895	0.6682	0.5279	0.5024	0.5986	0.7856	0.6234	0.6364
es_962	feuill_aeroport	11	0.6019	0.4871	0.7119	0.7353	0.8383	0.8498	0.8517	0.8052	0.8784	0.8516	0.8597	0.8673	0.8971	0.6369	0.7298	0.7199
modis_7	palexpo	2	0.1294	0.4100	0.3082	0.1673	0.5164	0.2754	0.3028	0.2580	0.3104	0.2380	0.1736	0.3124	0.3065	0.1991	0.1873	0.2535
modis_6	piste_aeroport	34	0.2370	0.2175	0.3312	0.3834	0.3727	0.3715	0.3672	0.3303	0.3119	0.3028	0.3025	0.3366	0.3629	0.3002	0.3382	0.3400
es_487	prairie	1	0.6173	0.3711	0.8811	0.8049	0.8558	0.6845	0.6367	0.5175	0.6047	0.6919	0.6845	0.6713	0.6802	0.7291	0.7714	0.5964
es_978	vigne1	2	0.4009	0.4685	0.4206	0.4026	0.5426	0.6653	0.6785	0.5830	0.6845	0.6445	0.6453	0.6901	0.7594	0.6406	0.6331	0.5731
es_979	vigne2	1	0.4589	0.4884	0.5623	0.4870	0.5621	0.5681	0.6853	0.6363	0.6755	0.6418	0.5323	0.6883	0.6827	0.6405	0.6539	0.6270
es_977	vigne3	4	0.4192	0.3682	0.4273	0.4827	0.6403	0.6062	0.5422	0.4612	0.5536	0.5257	0.6113	0.6065	0.6691	0.6186	0.6189	0.6310
es_970	feuill_chateau_des_bois	6	0.5115	0.4216	0.6940	0.7073	0.8538	0.9343	0.9051	0.9121	0.9262	0.8813	0.8392	0.8645	0.8819	0.7240	0.6839	0.6664
modis_9	rhone (Verboix)	4	0.2002	0.2497	0.2730	0.3389	0.6836	0.6926	0.6059	0.6121	0.5783	0.5228	0.6467	0.3725	0.5127	0.5677	0.3852	0.5096
es_954	villas_cologny	8	0.4780	0.5341	0.5794	0.5855	0.6611	0.6709	0.7471	0.7448	0.6798	0.7181	0.6523	0.6804	0.6930	0.7080	0.7586	0.7900
es_329	sol_nu	2	0.3650	0.4799	0.7468	0.7492	0.8507	0.3341	0.7149	0.3616	0.4198	0.3564	0.5486	0.6436	0.7342	0.7213		
es_139	mais	1	0.3014	0.3975	0.6512	0.5533	0.5302	0.5528	0.5500	0.9460	0.6801	0.7531	0.6907	0.6293	0.7630	0.6442	0.6136	0.6518
es_136	ble	2	0.2448	0.4826	0.6734	0.6905	0.8256	0.8016	0.7653	0.4868	0.5813	0.5063	0.6082	0.4479	0.5701	0.8518	0.8518	0.7936
es_141	tournesol	4	0.2282	0.3609	0.5221	0.6269	0.6773	0.7079	0.7395	0.8438	0.6613	0.7202	0.5863	0.5276	0.5775	0.5915	0.5337	0.6521
es_950	mixte_voirons	16	0.6917	0.6469	0.6840	0.6668	0.9001	0.9203	0.9081	0.8798	0.8851	0.8838	0.8945	0.8874	0.8768	0.8470	0.8870	0.7902
es_181	prairie (artificielle)	1	0.4925	0.4489	0.7534	0.7080	0.7269	0.7131	0.5545	0.5741	0.7174	0.7574	0.6050	0.6787	0.7427	0.6418	0.7726	0.6536
es_990	villas_foron	3	0.4624	0.4282	0.5122	0.5904	0.6001	0.6120	0.5716	0.5501	0.5891	0.6105	0.5614	0.5821	0.5964	0.5609	0.6365	0.5044
es_949	villas_thonex	4	0.4391	0.4451	0.5527	0.5761	0.6004	0.5897	0.5742	0.5526	0.5965	0.6066	0.5714	0.6014	0.6177	0.5590	0.6140	0.5944
es_948	urbain_annemasse	12	0.1878	0.2404	0.2666	0.3493	0.3796	0.3623	0.3540	0.3200	0.3370	0.3389	0.3194	0.3190	0.3486	0.2884	0.2865	0.2822
es_959	urbain_rive_gauche	4	0.1389	0.1275	0.1514	0.2041	0.2635	0.2056	0.2068	0.2089	0.2175	0.2144	0.2123	0.2057	0.2544	0.1854	0.1596	0.1529
modis_11	urbain_rive_droite	4	0.1291	0.0954	0.1442	0.1798	0.1830	0.2045	0.1822	0.1745	0.1885	0.1711	0.1869	0.1890	0.1867	0.1367	0.1597	0.1787
es_965	industriel_praille	11	0.0972	0.1645	0.1550	0.2169	0.2041	0.2045	0.2248	0.1864	0.2352	0.1934	0.1954	0.2106	0.2063	0.1921	0.1459	0.1780
es_287	cereales	2	0.3540	0.4503	0.7594	0.6637	0.8388	0.7439	0.6550	0.3546	0.3337	0.4556	0.4630	0.4525	0.4901	0.6672	0.7215	0.6283
es_952	feuill_derr_saleve	51	0.5493	0.5950	0.5559	0.5430	0.8539	0.9198	0.9076	0.8821	0.8936	0.8918	0.8892	0.8841	0.8832	0.6844	0.6124	0.5670
es_951	conif_derr_saleve	3	0.7376	0.6421	0.6813	0.7028	0.8394	0.8710	0.8559	0.8272	0.8544	0.8569	0.8623	0.8636	0.8477	0.8131	0.8649	0.3166
modis_10	feuill_derr_pt_saleve	17	0.5240	0.5425	0.6010	0.6693	0.8622	0.9042	0.8934	0.8834	0.8900	0.8907	0.9024	0.8928	0.8974	0.7409	0.6908	0.6188
modis_12	conif_pied_voirons	1	0.7602	0.5321	0.7522	0.8274	0.8596	0.8641	0.9039	0.9354	0.8693	0.7865	0.7414	0.8818	0.8882	0.9074	0.8382	0.8135
modis_14	feuill_vegy	12	0.5139	0.5166	0.6296	0.6787	0.9162	0.9354	0.9251	0.9240	0.9002	0.9011	0.8825	0.8832	0.8944	0.6635	0.6424	0.6241
modis_13	feuill_jussy	12	0.5333	0.5813	0.6973	0.7547	0.8977	0.9182	0.9166	0.9310	0.9228	0.9386	0.9193	0.8926	0.9074	0.7088	0.7351	0.6644
modis_15	gd_lac1	510	0.3555	0.5658	0.1556	0.2755	0.2120	0.1394	0.4327	0.4002	0.2205	0.2553	0.5517	0.3719	0.4268	0.0937	0.0962	0.1960
modis_16	gd_lac2	760	0.2616	0.4391	0.2192	0.3228	0.1015	0.3390	0.3236	0.3983	0.2320	0.1399	0.2164	0.3539	0.3381	0.2390	0.0983	0.1515
modis_17	lac_embouchure_rhone	670	0.2580	0.4197	0.0967	0.3370	0.3877	0.5276	0.3053	0.3343	0.4154	0.2441	0.0592	0.3307	0.4584	0.3485	0.2222	0.4492
modis_4	feuill_versoix1	9	0.5679	0.6442	0.6288	0.8288	0.8577	0.8592	0.9325	0.9378	0.8840	0.8790	0.8718	0.8660	0.8827	0.7384	0.6999	0.6324
modis_2	feuill_versoix2	8	0.6070	0.5400	0.6938	0.7301	0.9032	0.8879	0.8853	0.8753	0.8533	0.8720	0.8432	0.9079	0.8799	0.7476	0.6849	0.6717
modis_3	conif_versoix	2	0.7840	0.6303	0.6957	0.7936	0.8528	0.8255	0.8303	0.8786	0.8390	0.8386	0.8747	0.9038	0.8224	0.8029	0.7288	
modis_1	conif_gex	6	0.7575	0.6959	0.7697	0.7468	0.8353	0.8849	0.8681	0.8541	0.8743	0.8588	0.8617	0.8790	0.8454	0.7974	0.7974	0.8733
modis_8	feuill_jura	24	0.7498	0.6798	0.6947	0.6729	0.8790	0.9132	0.8724	0.8732	0.8903	0.8808	0.8763	0.8692	0.7527	0.6832	0.6832	0.7698
modis_5	mixte_jura	20	0.8230	0.8097	0.7769	0.7204	0.8512	0.8844	0.8713	0.8902	0.8830	0.8752	0.8814	0.8664	0.8877	0.8880	0.8880	0.7743

# Annexe 3

## Moyenne des valeurs d'EVI au sein des placettes pour l'années 2001

ID	Description	2000	2001	nbre de pixel	01.01.2001	17.01.2001	02.02.2001	18.02.2001	06.03.2001	22.03.2001	07.04.2001	23.04.2001	09.05.2001	26.05.2001	10.06.2001	26.06.2001
es_967	feuil ornex			10	0.1230	0.3123	0.2343	0.2900	0.2974	0.3352	0.3176	0.5312	0.6578	0.6803	0.7810	0.6318
es_961	chenaie mouret			10	0.1430	0.2591	0.2947	0.3709	0.2692	0.3004	0.3562	0.5601	0.5984	0.6608	0.7661	0.6461
es_968	mixte_Montchanais			16	0.1967	0.4687	0.3789	0.3684	0.3410	0.3876	0.3543	0.5208	0.4940	0.6212	0.6801	0.5844
es_955	petit lac (eau pelagique)			85	0.0592	0.0234	0.0156	0.0218	0.0234	0.0065	0.0268	0.0596	0.0410	0.0242	0.0362	0.2434
es_441	eau_cotiere (Versoix)			5	0.0742	0.0361	0.1744	0.1970	0.2184	0.1240	0.0657	0.1725	0.0844	0.1272	0.1280	0.3012
es_378	?	ble_automne1		2	0.1231	0.2753	0.3868	0.3535	0.3703	0.4135	0.4226	0.5609	0.4770	0.6063	0.5494	0.4639
es_376	?	tournesol1		1	0.1268	0.2797	0.3515	0.3119	0.3408	0.3845	0.2811	0.5246	0.5231	0.5968	0.4871	0.5694
es_383	?	paturage1		1	0.1417	0.4098	0.4449	0.4042	0.3791	0.4517	0.5169	0.6819	0.5823	0.5968	0.7997	0.4453
es_377	?	orge		3	0.1357	0.3407	0.3826	0.3853	0.3781	0.4692	0.4428	0.5498	0.4116	0.5553	0.4524	0.3369
es_341	?	paturage2		1	0.2060	0.2664	0.3713	0.3632	0.3440	0.4477	0.4699	0.4876	0.5229	0.5144	0.4793	0.7209
es_365	?	pois		1	0.1335	0.3316	0.2612	0.2829	0.3602	0.4599	0.3427	0.4155	0.4347	0.4592	0.3989	0.2812
es_393	?	paturage3		4	0.1281	0.3328	0.3412	0.3549	0.4015	0.4835	0.5614	0.5301	0.5522	0.5438	0.5386	0.6855
es_398	?	ble_automne2		1	0.1497	0.3189	0.3910	0.3159	0.3927	0.4211	0.4387	0.4834	0.6500	0.7216	0.5440	0.4312
es_962	feuil aeroport			11	0.1312	0.2984	0.3913	0.3612	0.3230	0.3966	0.3982	0.6114	0.5901	0.5810	0.6961	0.7309
modis_7	palexpo			2	0.0880	0.1240	0.1571	0.1877	0.1639	0.1510	0.2481	0.2103	0.2159	0.3741	0.1111	0.3669
modis_6	piste aeroport			34	0.1046	0.1496	0.1845	0.1824	0.1807	0.1977	0.1863	0.3184	0.2839	0.2703	0.2757	0.3318
es_487	prairie			1	0.1382	0.3814	0.3619	0.5219	0.4477	0.4761	0.7732	0.4945	0.7504	0.5807	0.6497	0.5212
es_978	vigne1			2	0.2043	0.2892	0.2284	0.2194	0.2450	0.2609	0.2492	0.3568	0.3394	0.3787	0.4316	0.5887
es_979	vigne2			1	0.1235	0.3437	0.3220	0.2871	0.3521	0.3901	0.3290	0.4890	0.4425	0.5291	0.5016	0.6017
es_977	vigne3			4	0.1568	0.3110	0.2692	0.2511	0.2877	0.3356	0.3414	0.5227	0.4682	0.5135	0.4226	0.4317
es_970	feuil chateau des bois			6	0.1542	0.2034	0.2541	0.2928	0.2986	0.3558	0.3268	0.5383	0.7372	0.6334	0.7900	0.6457
modis_9	rhone (Verboix)			4	0.0978	0.1621	0.1074	0.2421	0.2152	0.2519	0.1230	0.4332	0.3808	0.4007	0.3528	0.4935
es_954	villas cologny			8	0.0892	0.2165	0.2191	0.2724	0.3130	0.2958	0.3458	0.3708	0.3873	0.4264	0.4223	0.4509
es_329	sol_nu	colza		2	0.1525	0.3704	0.3837	0.3915	0.4813	0.5564	0.6143	0.7127	0.6047	0.6299	0.5401	0.3256
es_139	mais	ble_automne3		1	0.1486	0.3124	0.2001	0.2990	0.3440	0.3206	0.5122	0.4466	0.5453	0.6916	0.7036	0.4383
es_136	ble	tournesol2		2	0.1256	0.4034	0.2783	0.2436	0.3612	0.3902	0.3133	0.4902	0.5088	0.4755	0.4894	0.6124
es_141	tournesol	ble_automne4		4	0.1278	0.3067	0.2476	0.3087	0.3745	0.4191	0.4518	0.5468	0.4504	0.5294	0.6064	0.5200
es_950	mixte_voirons			16	0.0989	0.1783	0.1859	0.2014	0.2290	0.1739	0.2410	0.3939	0.4191	0.6391	0.6786	0.5324
es_181	prairie (atficielle)	herbes +/- seches		1	0.1337	0.3989	0.3376	0.2502	0.3343	0.4063	0.4755	0.3963	0.5777	0.5683	0.5440	0.4706
es_990	villas_foron			3	0.1412	0.2784	0.2151	0.2725	0.2907	0.2877	0.3198	0.3231	0.3945	0.4059	0.3939	0.3873
es_949	villas_thonex			4	0.1243	0.2972	0.2321	0.2432	0.2611	0.2726	0.3097	0.3703	0.3780	0.4365	0.4110	0.3885
es_948	urbain_annemasse			12	0.1309	0.1208	0.0903	0.1340	0.1307	0.1240	0.1348	0.2323	0.1823	0.2197	0.1934	0.1702
es_959	urbain_rive gauche			4	0.0761	0.0356	0.0605	0.0658	0.0846	0.0664	0.0480	0.0851	0.0957	0.1042	0.0913	0.1168
modis_11	urbain_rive droite			4	0.0747	0.0598	0.0464	0.0604	0.0586	0.0473	0.0565	0.1245	0.1014	0.0983	0.0936	0.1346
es_965	industriel praille			11	0.1232	0.0689	0.0580	0.0858	0.1115	0.0865	0.0902	0.1000	0.1404	0.1706	0.1001	0.2257
es_287	cereales			2	0.1143	0.2215	0.2198	0.3114	0.3573	0.3240	0.4596	0.4386	0.5613	0.4526	0.5145	0.4293
es_952	feuil derr saleve			51	0.3450	0.3568	0.2909	0.2466	0.2869	0.3144	0.2874	0.3374	0.4879	0.7505	0.7481	0.6855
es_951	conif derr saleve			3	0.4327	0.3862	0.2987	0.2706	0.3099	0.3608	0.3361	0.3599	0.4571	0.5771	0.5473	0.5320
modis_10	feuil derr_pt saleve			17	0.1459	0.2506	0.2040	0.1777	0.1839	0.2186	0.2841	0.2834	0.5983	0.6724	0.7153	0.6208
modis_12	conif_pied voirons			1	0.1462	0.3243	0.2393	0.2931	0.3011	0.3088	0.3159	0.4514	0.4575	0.6089	0.5606	0.4942
modis_14	feuil vegy			12	0.1115	0.2088	0.1696	0.2675	0.2058	0.2399	0.2718	0.3025	0.6221	0.7959	0.7587	0.6765
modis_13	feuil jussy			12	0.0953	0.2453	0.2119	0.2456	0.2574	0.2259	0.3253	0.5003	0.6416	0.6676	0.7736	0.6036
modis_15	gd lac1			510	0.0345	0.0024	0.0151	0.0301	0.0390	0.0187	0.0118	0.0121	-0.0029	0.0212	0.0089	0.0856
modis_16	gd lac2			760	0.0042	0.0004	0.0139	0.0170	0.0460	0.0166	0.0062	0.0291	0.0187	0.0134	0.0052	0.1381
modis_17	lac embouchure thone			670	0.0080	0.0043	0.0092	0.0127	0.0331	0.0215	0.0267	0.0191	0.0173	0.0206	0.0052	0.0890
modis_4	feuil_versoix1			9	0.1274	0.2546	0.2199	0.3132	0.2412	0.2592	0.2749	0.4400	0.5634	0.6476	0.6631	0.5611
modis_2	feuil_versoix2			8	0.1389	0.2747	0.2424	0.3218	0.2685	0.2969	0.3228	0.5760	0.6337	0.6627	0.5528	0.7577
modis_3	conif_versoix			2	0.1643	0.3606	0.2887	0.3315	0.2637	0.2886	0.2766	0.4007	0.4560	0.5799	0.5646	0.5854
modis_1	conif_gex			6	0.1131	0.4581	0.3139	0.3364	0.3193	0.4517	0.3254	0.2192	0.4018	0.6276	0.5150	0.5852
modis_8	feuil_jura			24	0.1882	0.4350	0.3387	0.4433	0.3224	0.3777	0.3304	0.4171	0.5012	0.6995	0.7016	0.6301
modis_5	mixte_jura			20	0.1998	0.4671	0.3546	0.3990	0.2861	0.4588	0.3582	0.4085	0.4457	0.5436	0.6066	0.5160

# Annexe 4

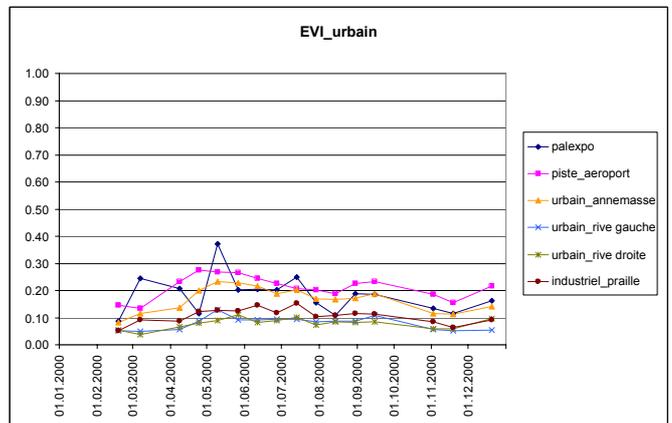
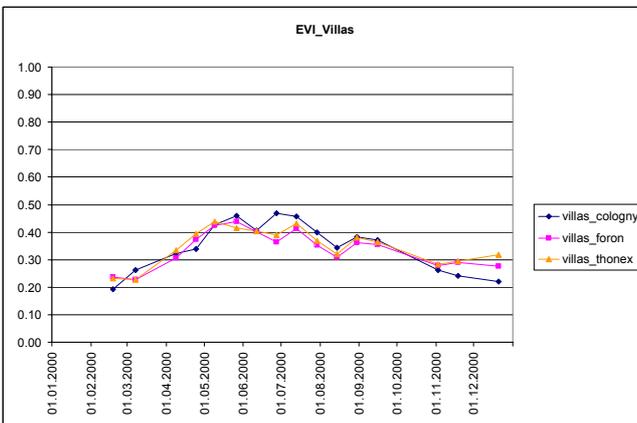
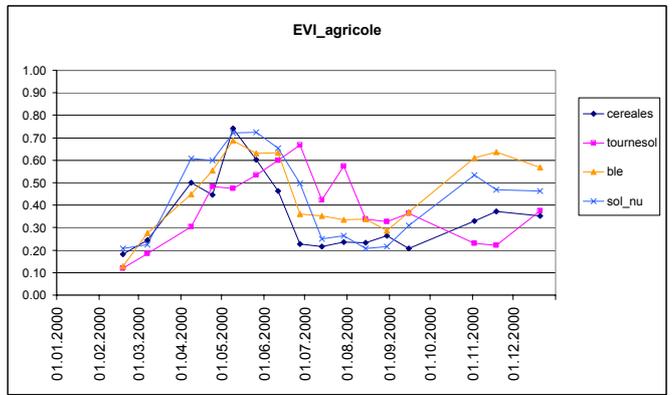
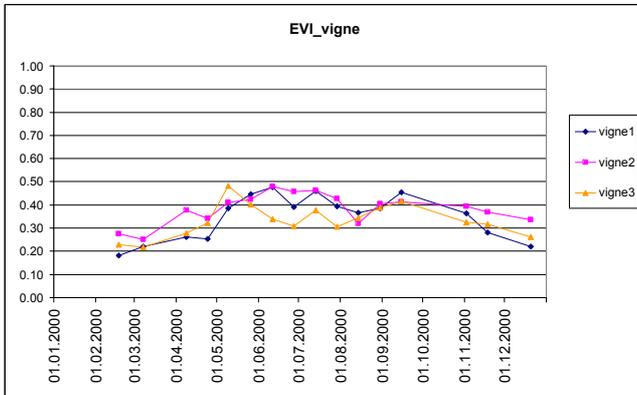
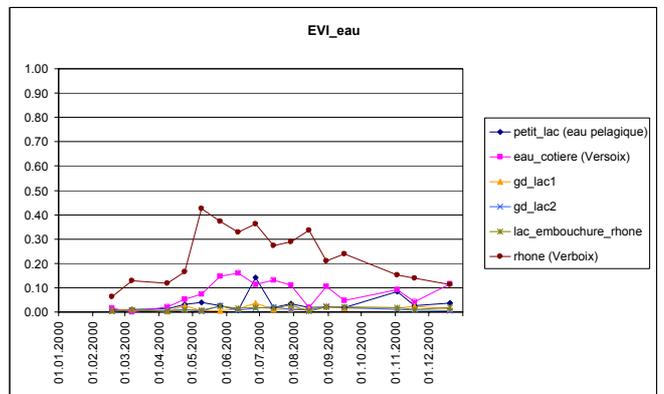
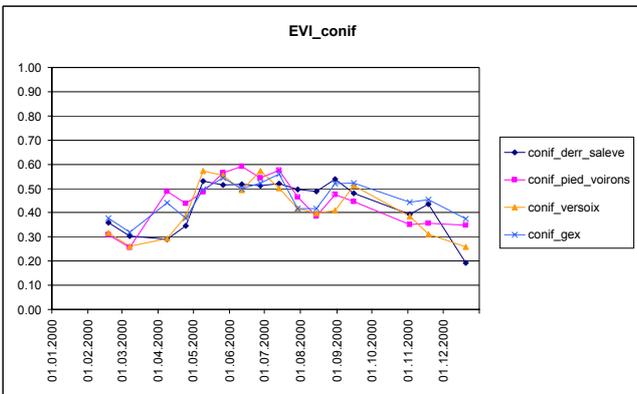
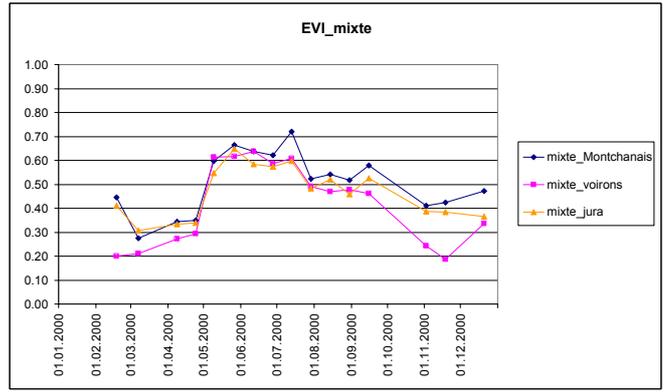
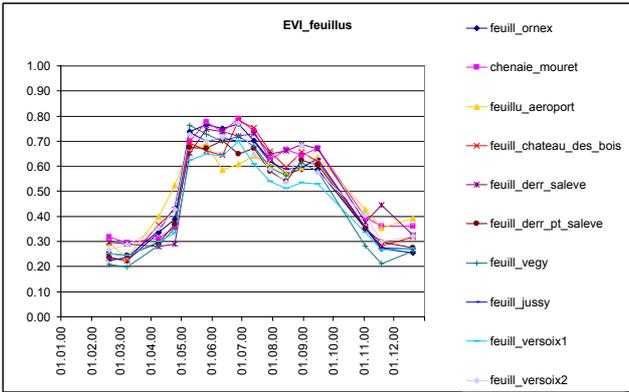
## Moyenne des valeurs d'NDVI au sein des placettes pour l'années 2001

ID	Description	2000	2001	nbre de pixel	01.01.2001	17.01.2001	02.02.2001	18.02.2001	06.03.2001	22.03.2001	07.04.2001	23.04.2001	09.05.2001	26.05.2001	10.06.2001	26.06.2001
es_967	feuil ornex			10	0.1213	0.6024	0.6308	0.5189	0.6417	0.6951	0.6798	0.8297	0.8538	0.9286	0.9734	0.8591
es_961	chenaie mouret			10	0.0403	0.6578	0.6691	0.6558	0.6924	0.7033	0.6800	0.8251	0.8574	0.9260	0.9227	0.8645
es_968	mixte_Monichanais			16	0.0598	0.8025	0.8110	0.7480	0.6612	0.7340	0.7791	0.8194	0.8015	0.9027	0.9216	0.8693
es_955	petit lac (eau pelagique)			85	0.0258	0.2318	0.5053	0.1042	0.2357	0.3290	0.2757	0.5813	0.4439	0.5895	0.1523	0.7099
es_441	eau_cotiere (Versoix)			5	0.0384	0.0927	0.5887	0.4356	0.5121	0.4275	0.2551	0.6769	0.3331	0.6711	0.6136	0.6553
es_378	?	ble_automne1		2	0.1076	0.5774	0.6264	0.5923	0.7107	0.7390	0.7331	0.8643	0.6995	0.8700	0.8076	0.7045
es_376	?	tournesol1		1	0.1084	0.4558	0.5818	0.5339	0.6640	0.7016	0.5334	0.8244	0.7281	0.8624	0.6951	0.7792
es_383	?	paturage1		1	0.1362	0.6129	0.6461	0.6275	0.6893	0.7496	0.7739	0.8238	0.7683	0.8624	0.9650	0.6338
es_377	?	orge		3	0.1173	0.5230	0.6032	0.5766	0.6910	0.7525	0.6643	0.8066	0.6049	0.8133	0.6878	0.5109
es_341	?	paturage2		1	0.1620	0.6517	0.6429	0.5735	0.6556	0.7531	0.7182	0.7759	0.7361	0.7649	0.6959	0.8750
es_365	?	pois		1	0.1066	0.5944	0.4956	0.4389	0.6509	0.7024	0.5241	0.6411	0.5449	0.6656	0.5848	0.4152
es_393	?	paturage3		4	0.0944	0.5165	0.6639	0.5192	0.7101	0.7512	0.7499	0.8011	0.7332	0.7723	0.7283	0.8241
es_398	?	ble_automne2		1	0.1077	0.6000	0.6178	0.4699	0.7043	0.6889	0.6675	0.7588	0.7586	0.7639	0.7530	0.6294
es_962	feuil aeroport			11	0.0650	0.6353	0.6691	0.5643	0.6696	0.7404	0.7167	0.8293	0.8061	0.7766	0.8920	0.8709
modis_7	palexpo			2	0.0390	0.2237	0.2374	0.2550	0.3101	0.2601	0.3056	0.3784	0.3098	0.5258	0.1605	0.3962
modis_6	piste aeroport			34	0.0544	0.2492	0.2958	0.2994	0.3267	0.3261	0.2982	0.4636	0.4098	0.4081	0.3956	0.4355
es_487	prairie			1	0.0916	0.6345	0.6594	0.6551	0.6832	0.7330	0.8856	0.6800	0.8185	0.7629	0.7947	0.6531
es_978	vigne1			2	0.1121	0.5382	0.5251	0.4851	0.5425	0.5394	0.4532	0.6102	0.4932	0.5886	0.6697	0.7642
es_979	vigne2			1	0.0721	0.5319	0.5749	0.4800	0.6396	0.6698	0.5102	0.7168	0.5662	0.6911	0.7182	0.7502
es_977	vigne3			4	0.1040	0.5479	0.5146	0.4856	0.5954	0.6499	0.5691	0.7336	0.6229	0.7566	0.6639	0.6017
es_970	feuil_chateau_des_bois			6	0.0635	0.5456	0.6209	0.5926	0.6589	0.7034	0.6747	0.8674	0.8585	0.8779	0.9538	0.8491
modis_9	rhone (Verboix)			4	0.0538	0.4395	0.3249	0.5096	0.5139	0.5777	0.2538	0.7849	0.6424	0.6198	0.6351	0.6472
es_954	villas_cologny			8	0.0368	0.6924	0.5566	0.5847	0.6823	0.6643	0.6321	0.7482	0.6051	0.6215	0.6748	0.7020
es_329	sol_nu	colza		2	0.0382	0.6759	0.6391	0.6929	0.7882	0.8304	0.7864	0.6763	0.7855	0.8194	0.7682	0.5298
es_139	mais	ble_automne3		1	0.0637	0.5146	0.4513	0.4954	0.6736	0.6346	0.7350	0.7633	0.7367	0.7978	0.9030	0.8853
es_136	ble	tournesol2		2	0.0618	0.6393	0.5463	0.4858	0.6750	0.6118	0.5180	0.6847	0.6618	0.6794	0.7207	0.8124
es_141	tournesol	ble_automne4		4	0.0583	0.5250	0.4969	0.5579	0.6944	0.6995	0.6907	0.8416	0.6260	0.7482	0.8227	0.7435
es_950	mixte_voirons			16	0.0368	0.5310	0.8384	0.5315	0.7233	0.4785	0.7035	0.4638	0.8102	0.9157	0.9437	0.8654
es_181	prairie (atficielle)	herbes +/- seches		1	0.0752	0.7042	0.5907	0.5521	0.6490	0.6311	0.6988	0.5922	0.7267	0.6787	0.6843	0.6745
es_990	villas_foron			3	0.0818	0.6583	0.4629	0.4533	0.5853	0.5117	0.5765	0.5203	0.5842	0.5839	0.5704	0.6148
es_949	villas_thonex			4	0.0728	0.5412	0.4861	0.4722	0.5159	0.5148	0.5595	0.5717	0.5579	0.5845	0.5790	0.6240
es_948	urbain_annemasse			12	0.0733	0.2989	0.2302	0.3157	0.2991	0.2660	0.2780	0.3604	0.3467	0.3524	0.3207	0.3548
es_959	urbain_rive_gauche			4	0.0499	0.1152	0.1432	0.1626	0.2195	0.1658	0.1173	0.2119	0.2057	0.2246	0.1984	0.2591
modis_11	urbain_rive_droite			4	0.0435	0.1548	0.1439	0.1474	0.1762	0.1359	0.1354	0.2261	0.1903	0.1943	0.1829	0.2590
es_965	industriel praille			11	0.0353	0.1815	0.1236	0.2186	0.2208	0.1536	0.1581	0.2028	0.2243	0.2814	0.1632	0.2352
es_287	cereales			2	0.0385	0.5258	0.4820	0.5025	0.5545	0.5399	0.7092	0.8078	0.8325	0.6427	0.7548	0.6838
es_952	feuil_derr_saleve			51	0.1038	0.5399	0.6178	0.4535	0.6339	0.6373	0.5923	0.6521	0.7518	0.9031	0.9170	0.8431
es_951	conif_derr_saleve			3	0.1748	0.8619	0.8504	0.5274	0.6621	0.7073	0.7314	0.3239	0.7943	0.8709	0.8680	0.8958
modis_10	feuil_derr_pt_saleve			17	0.0471	0.6530	0.5924	0.5479	0.5639	0.6478	0.6186	0.5587	0.8395	0.9156	0.9160	0.8827
modis_12	conif_pied_voirons			1	0.0613	0.8266	0.7944	0.8110	0.6996	0.7631	0.7847	0.8838	0.8109	0.9118	0.8985	0.8064
modis_14	feuil_vegy			12	0.0596	0.6046	0.5409	0.5653	0.6119	0.5810	0.6300	0.7509	0.8578	0.9225	0.9620	0.9321
modis_13	feuil_jussy			12	0.0313	0.6502	0.5784	0.5679	0.6487	0.3980	0.6951	0.8672	0.8874	0.9494	0.9892	0.9744
modis_15	gd_lac1			510	0.2183	0.1181	0.3934	0.3721	0.4676	0.4617	0.2823	0.0175	0.2372	0.3833	0.1585	0.4278
modis_16	gd_lac2			760	0.0787	0.0704	0.2550	0.3274	0.6417	0.5188	0.1976	0.1582	0.2467	0.3335	0.1229	0.4975
modis_17	lac_embouchure_thonex			670	0.1195	0.1513	0.3117	0.2761	0.4238	0.3617	0.0124	-0.0096	0.2887	0.4138	0.1733	0.3948
modis_4	feuil_versoix1			9	0.0956	0.6617	0.6115	0.6188	0.6357	0.7121	0.6509	0.8418	0.8362	0.9581	0.9277	0.8571
modis_2	feuil_versoix2			8	0.0606	0.6207	0.6001	0.5593	0.6513	0.6710	0.6796	0.8350	0.8733	0.8920	0.7737	0.9045
modis_3	conif_versoix			2	0.0615	0.7895	0.7904	0.6204	0.7321	0.7842	0.7288	0.8007	0.8203	0.8834	0.9008	0.8731
modis_1	conif_gex			6	0.0264	0.8407	0.7951	0.8001	0.7873	0.7915	0.8427	0.1034	0.8455	0.8718	0.8524	0.8706
modis_8	feuil_jura			24	0.1140	0.7531	0.7592	0.7645	0.7355	0.7286	0.7532	0.3440	0.7989	0.9050	0.9124	0.8314
modis_5	mixte_jura			20	0.0723	0.8228	0.8323	0.8211	0.4572	0.8370	0.8090	0.3792	0.7913	0.8950	0.8891	0.8555

# Annexe 5

## Evolution de l'indice EVI au cours de l'année 2000

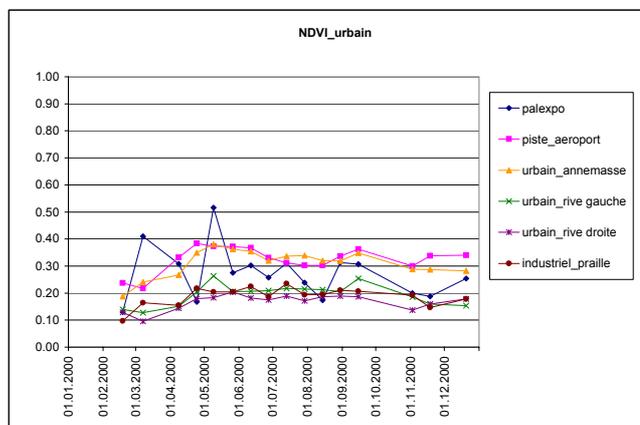
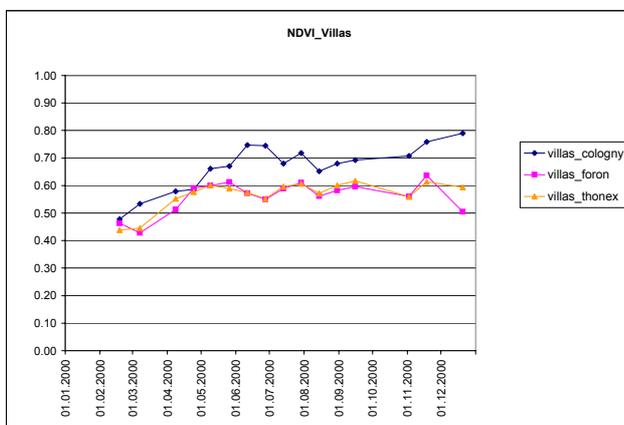
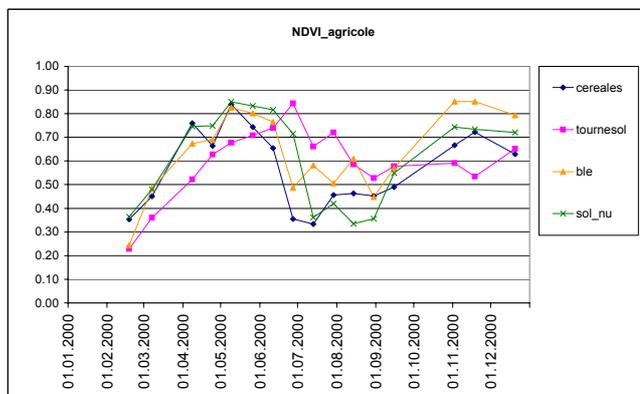
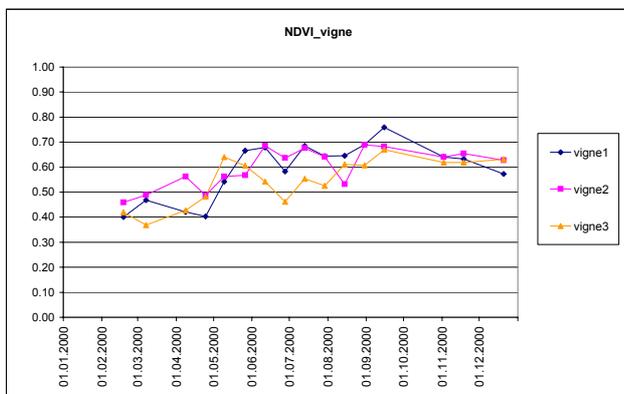
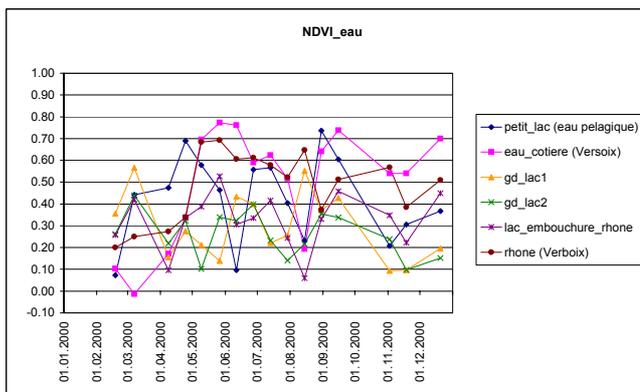
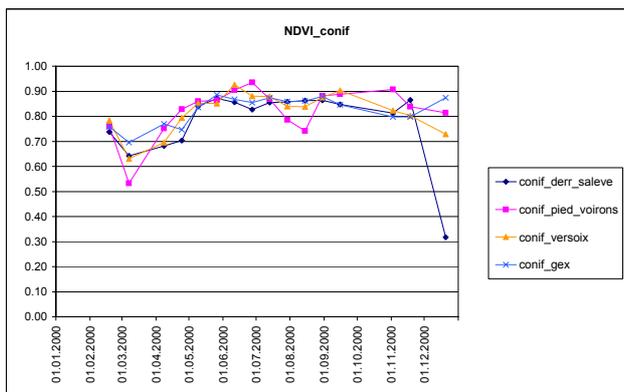
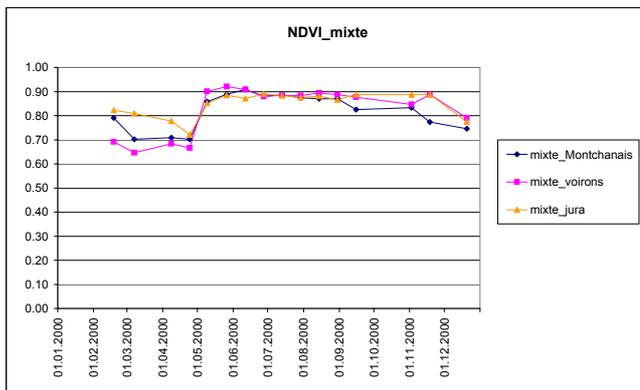
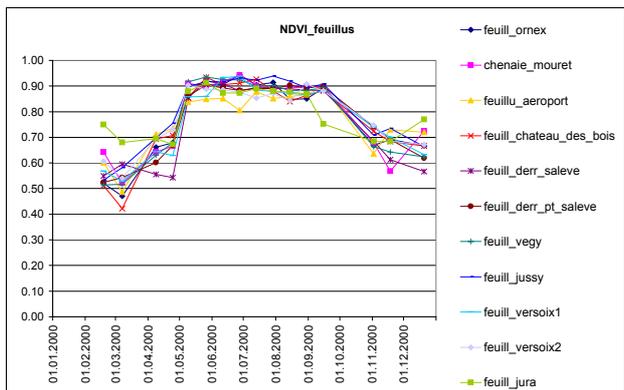
Regroupé par thème de la couverture du sol



# Annexe 6

## Evolution de l'indice NDVI au cours de l'année 2000

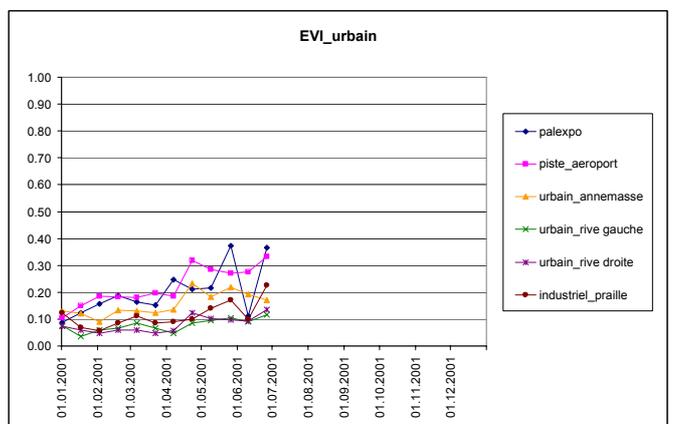
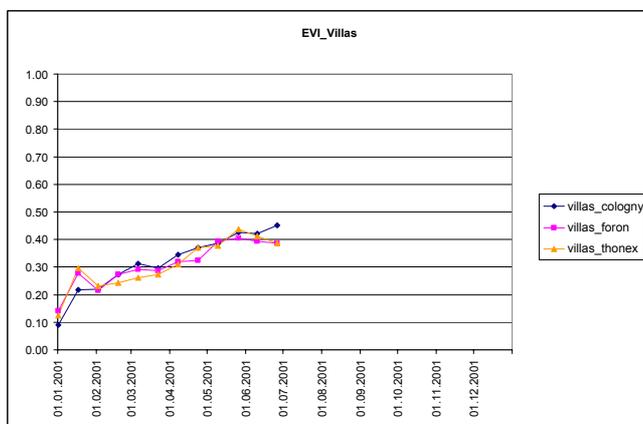
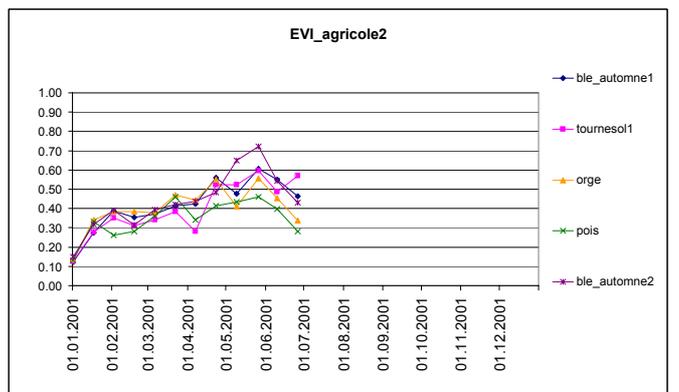
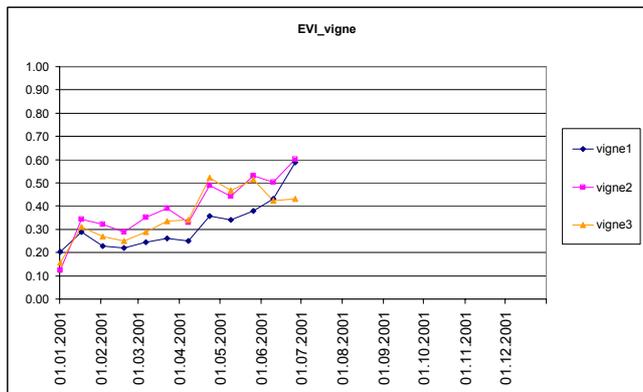
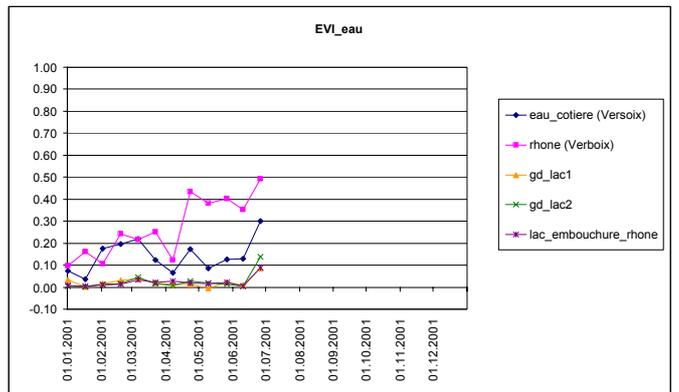
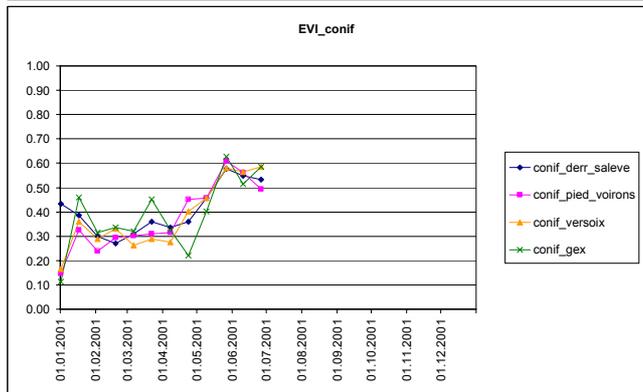
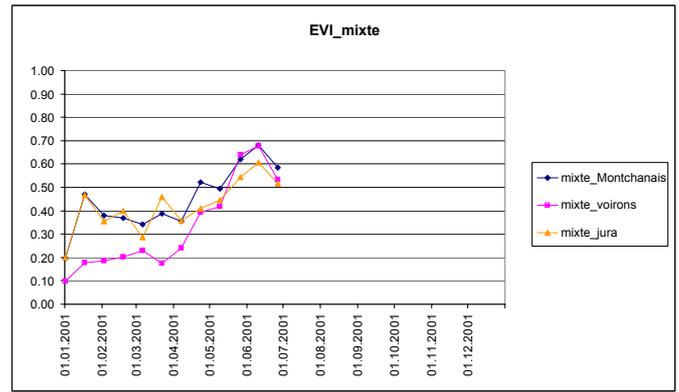
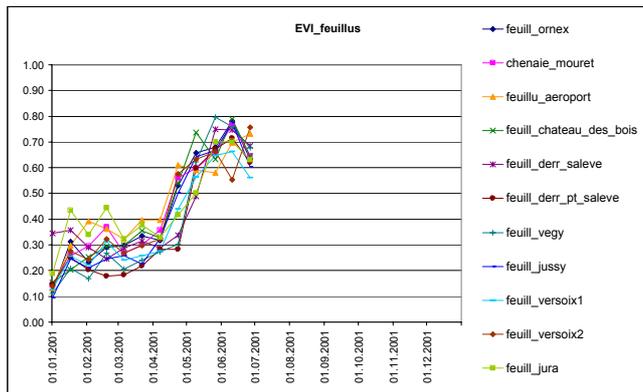
Regroupé par thème de la couverture du sol



# Annexe 7

## Evolution de l'indice EVI au cours de l'année 2001

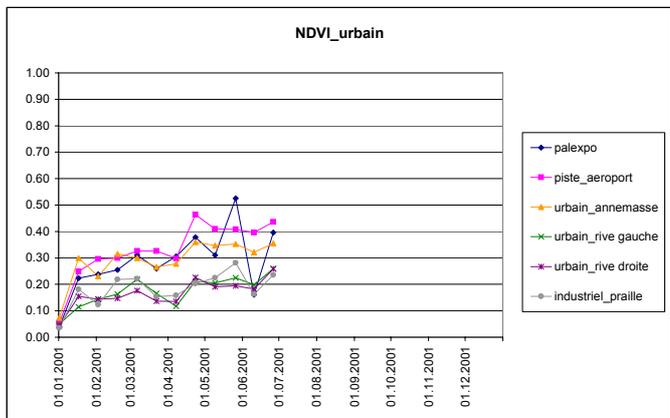
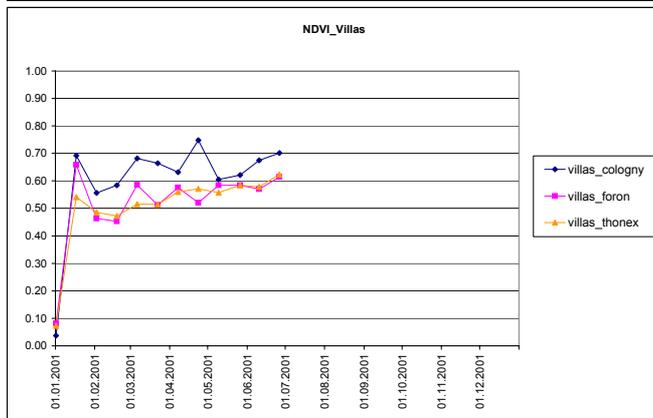
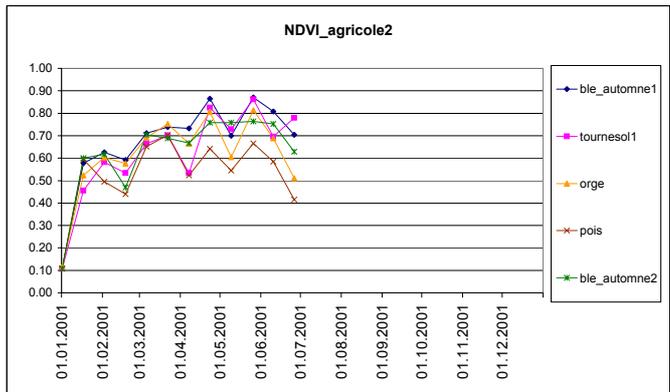
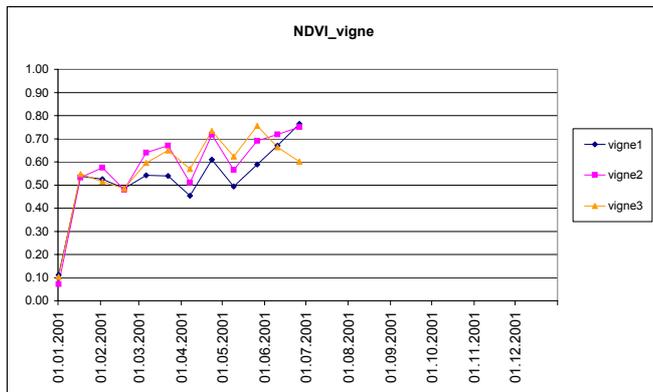
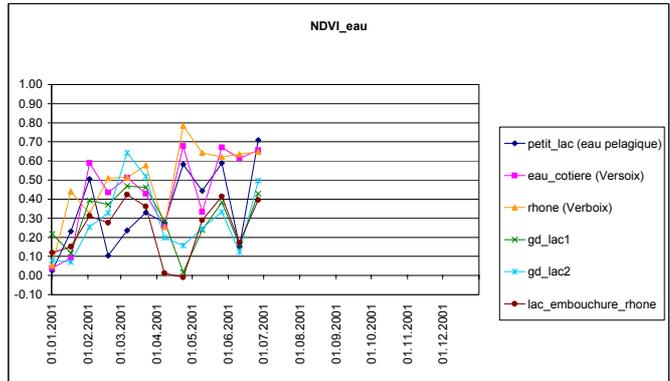
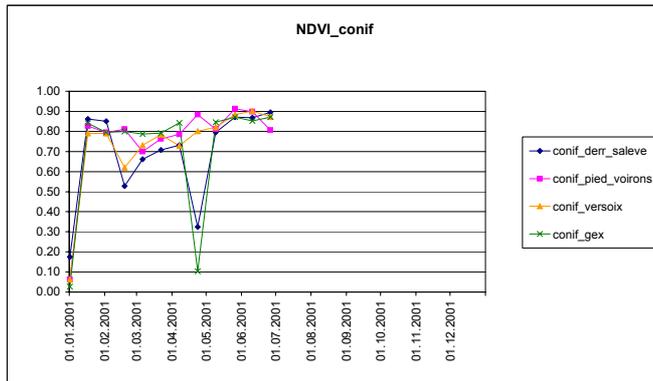
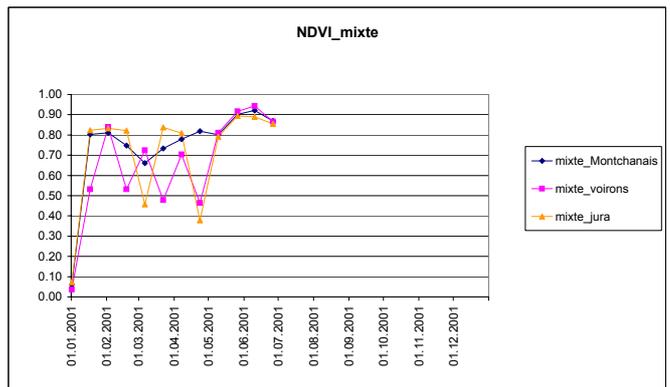
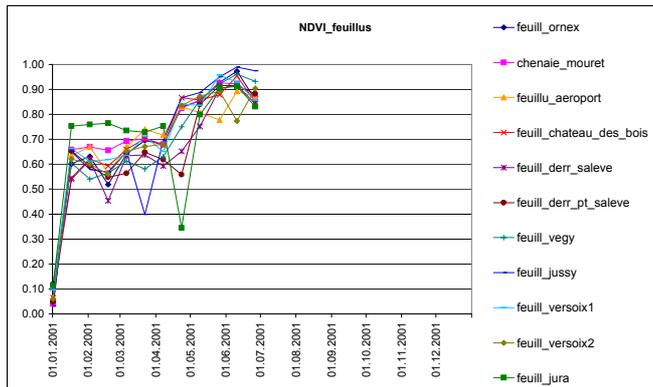
(Regroupé par thème de la couverture du sol)



# Annexe 8

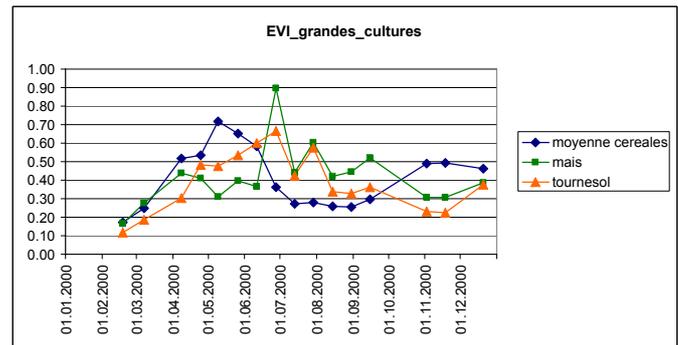
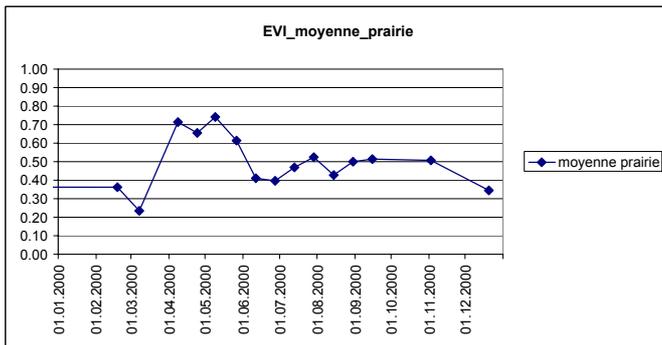
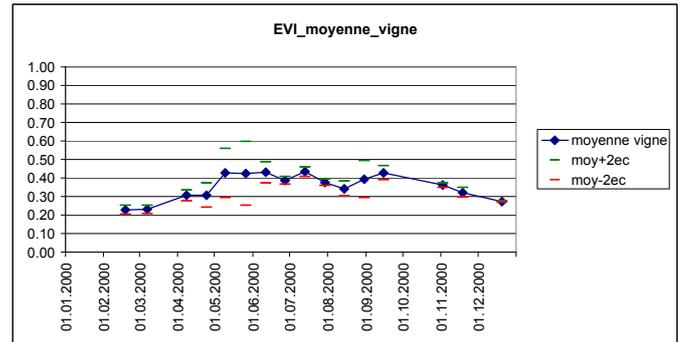
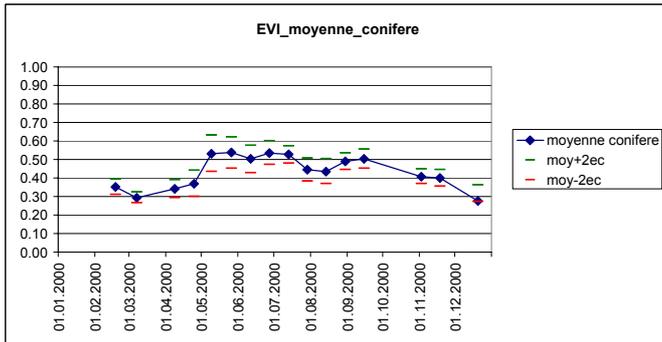
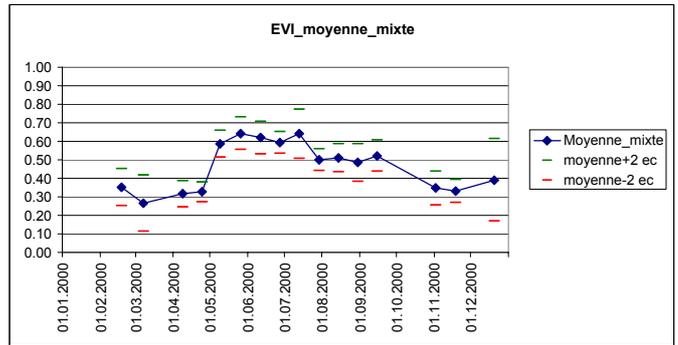
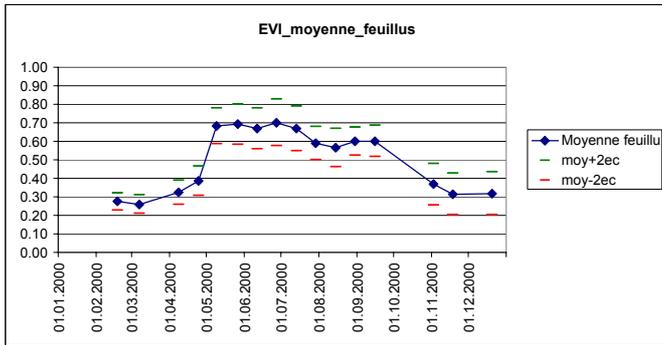
## Evolution de l'indice NDVI au cours de l'année 2001

(Regroupé par thème de la couverture du sol)

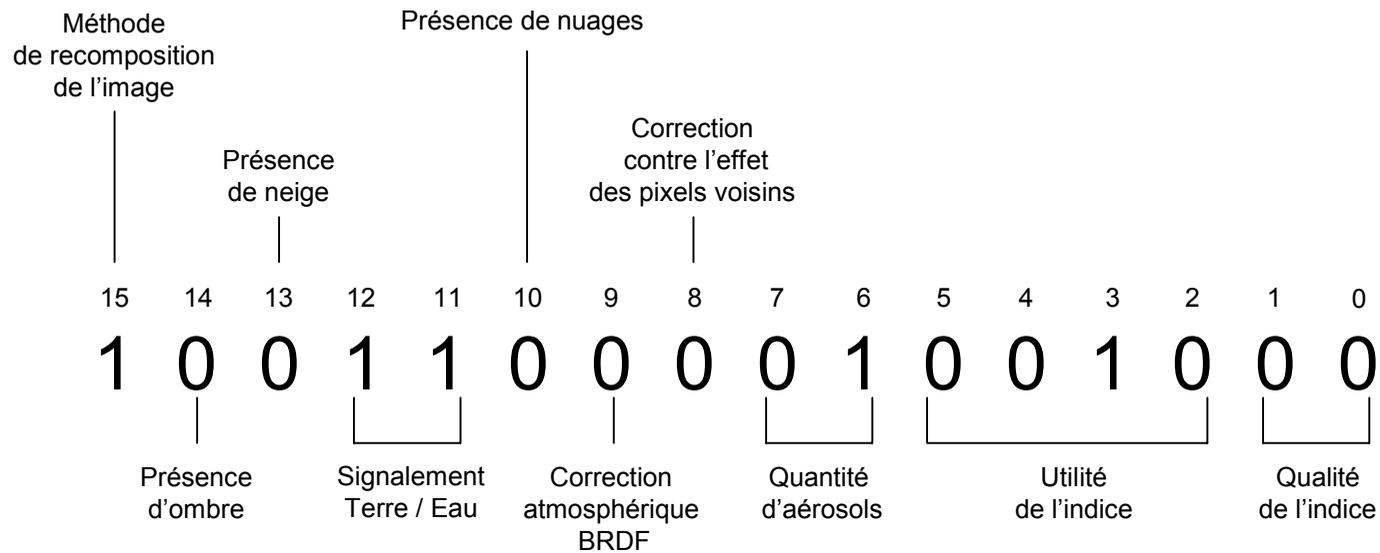


# Annexe 9

## Signature annuelle moyenne de l'EVI (au cours de l'année 2000)



# Annexe 10: Mécanisme du codage de la qualité des indices de végétation de MODIS



# Annexe 11: Table de transformation du codage de la qualité des indices de végétation de MODIS

Values LWF pixels	Composite_method	Possible shadow	Possible snow/ice	Land/Water flag	Mixed cloud	Atm. BRDF Correction	Adjacency_correction	Aerosol_quantity	VI_usefulness	VI_Quality	Usefulness	Index Quality	snow	shadow	
															15
65535	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	not useful	not produced	X	X	
63641	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	middle	CHECK	X	X	
63581	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	middle	CHECK	X	X	
63577	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	middle	CHECK	X	X	
63525	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	low	CHECK	X	X	
63521	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	pretty low	CHECK	X	X	
63517	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	middle	CHECK	X	X	
59429	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	low	CHECK	X	X	
56562	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	very low	CLOUDY		X	
56558	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	very low	CLOUDY		X	
56486	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	low	CLOUDY		X	
55449	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	middle	CHECK		X	
55445	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	pretty good	CHECK		X	
55385	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	middle	CHECK		X	
55381	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	pretty good	CHECK		X	
55377	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	pretty good	CHECK		X	
52390	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	low	CLOUDY		X	
51285	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	pretty good	CHECK		X	
48166	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	low	CLOUDY	X		
47329	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	pretty low	CHECK	X		
47325	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	middle	CHECK	X		
47321	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	middle	CHECK	X		
47257	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	middle	CHECK	X		
47253	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	pretty good	CHECK	X		
47249	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	pretty good	CHECK	X		
47188	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	pretty good	GOOD	X		
47184	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	pretty good	GOOD	X		
47183	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	good	not produced	X		
47180	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	good	GOOD	X		
47132	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	middle	GOOD	X		
47128	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	pretty good	GOOD	X		
47124	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	pretty good	GOOD	X		
45084	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	middle	GOOD	X		
43229	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	middle	CHECK	X		
43157	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	pretty good	CHECK	X		
43088	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	pretty good	GOOD	X		
43036	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	middle	GOOD	X		
40170	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	low	CLOUDY			
40166	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	low	CLOUDY			
40162	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	pretty low	CLOUDY			
40098	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	pretty low	CLOUDY			
40094	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	middle	CLOUDY			
40090	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	middle	CLOUDY			
40026	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	middle	CLOUDY			
39974	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	low	CLOUDY			
39970	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	middle	CLOUDY			
39966	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	middle	CLOUDY			
39133	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	middle	CHECK			
39129	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	middle	CHECK			
39125	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	pretty good	CHECK			
39061	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	pretty good	CHECK			
39057	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	pretty good	CHECK			
39053	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	good	CHECK			
38992	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	pretty good	GOOD			
38988	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	good	GOOD			
38984	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	good	GOOD			
37085	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	middle	CHECK			
37013	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	pretty good	CHECK			
37009	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	pretty good	CHECK			
37005	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	good	CHECK			
36940	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	good	GOOD			
36936	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	good	GOOD			
35033	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	middle	CHECK			
35029	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	pretty good	CHECK			
34961	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	pretty good	CHECK			
34957	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	good	CHECK			
34896	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	pretty good	GOOD			
34892	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	good	GOOD			
34888	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	good	GOOD			