



## Cartographie d'occupation des sols des îles des Petites Antilles

### Rapport de Synthèse

Auteur : Antoine Cheula

Partenaire : IRD, UMR ESPACE-DEV

Date : Octobre 2012



Projet CARIBSAT – Programme INTERREG Caraïbe IV

**Territoires Caraïbe**

**Climat**

**Milieu marin**

**Mangrove**

**Littoral**

**Urbanisation**

**Biodiversité**

**Risques naturels**

**AUTEUR :**

Antoine CHEULA, IRD - CDD – IE, du 1<sup>er</sup> avril 2010 au 30 juin 2012 (coordination de l'action)

**CONTRIBUTION :**

David RECHAL, IRD- CDD – IE, du 1<sup>er</sup> février 2010 au 30 juin 2012

Christophe REVILLION, IRD - CDD – IE, du 3 septembre 2011 au 30 juin 2012

Jean-Raphael GROS-DESORMEAUX, IRD – CDD – IR, du 1<sup>er</sup> janvier 2010 au 08 octobre 2012 (Adjoint coordinateur CARIBSAT)

Marc MORELL, IRD – IR, Coordinateur CARIBSAT

**STRUCTURES D'ACCUEIL :**

IRD – Centre Martinique Caraïbe, Fort-de-France

Maison de la télédétection – UMR Espace-Dev, Montpellier

**PARTENARIAT REGIONAL :**

UWI - Department of Geomatic

## Sommaire

1. CONTEXTE .....	5
1.1 Rappel des objectifs du projet CARIBSAT.....	5
1.2 Objectifs de la cartographie d'occupation des sols à l'échelle régionale .....	5
1.3 Zone d'étude.....	5
1.4 Données utilisées.....	6
2. L'APPORT D'UNE CARTOGRAPHIE REGIONALE D'OCCUPATION DES SOLS .....	7
2.1 Occupation des sols et environnement .....	7
2.2 Données existantes.....	7
2.2.1 Cartographies mondiale d'occupation des sols .....	7
2.2.2 Les productions locales d'occupation des sols.....	11
2.3 Choix de la nomenclature .....	12
3. METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DE LA DONNEE.....	14
3.1 Logiciels utilisés.....	14
3.2 Pré-traitements.....	15
3.2.1 Orthorectification .....	15
3.2.2 Correction radiométrique .....	15
3.2.3 Correction atmosphérique et normalisation des images.....	16
3.2.4 Détection des nuages et ombres de nuage.....	16
3.3 Algorithme de classification.....	17
3.3.1 Choix de l'algorithme .....	17
3.3.2 L'algorithme SVM.....	18
3.3.3 Protocole de classification .....	18
3.4 Post-traitements .....	20
4. RESULTATS ET VALIDATION .....	20
4.1 Résultats .....	20
4.2 Validation .....	22
5. CONCLUSION .....	24
6. COMMUNICATION .....	25
7. BIBLIOGRAPHIE .....	25
8. SIGLES ET ACRONYMES.....	28
ANNEXE 1 : Références des images mises en production par la station SEAS - Guyane .....	29
ANNEXE 2 : Code des routines IDL.....	33
ANNEXE 3 : Exemples de cartes d'occupation des sols.....	52
Anguilla.....	52

Antigua.....	53
Barbados.....	54
Barbuda.....	55
Culebra.....	56
Virgin Islands (1).....	57
Virgin Islands (2).....	58
Virgin Islands (3).....	59
Saba Eustache.....	60
Tobago.....	61
Vieques.....	62
Dominique.....	63
Grenade.....	64
Saint-Vincent.....	65
Grenadines.....	66
Guadeloupe.....	67
Martinique.....	68
Sainte-Lucie.....	69
Montserrat.....	70
Saint-Kitts et Nevis.....	71
Saint-Martin, Saint Barthélémy.....	72
Trinidad.....	73

## 1. CONTEXTE

### 1.1 Rappel des objectifs du projet CARIBSAT

Le projet CARIBSAT consiste à concevoir et implanter de manière pérenne un observatoire régional de l'environnement à l'échelle des Petites Antilles, matérialisé par un outil de restitution cartographique en ligne (webmapping). La base de données géographiques doit être alimentée par l'acquisition, le traitement et l'analyse d'images satellites, de données environnementales sol, et de chroniques hydrométéorologiques.

Plus spécifiquement, le projet CARIBSAT se concentre sur les enjeux de préservation de la biodiversité terrestre et marine, la prévention des risques naturels majeurs et les effets de la variabilité ou du changement climatique. CARIBSAT se décline en dix actions :

Action 1 : Atlas dynamique en ligne des Petites Antilles

Action 2 : Constitution d'une base de données hydroclimatiques

Action 3 : Suivi de la santé des récifs coralliens

Action 4 : Cartographie des habitats marins par télédétection

Action 5 : Suivi de la restauration de la mangrove

Action 6 : Evolution du trait de côte et vulnérabilité du littoral

Action 7 : Impacts des événements météo-marins

Action 8 : Phénomènes liés au développement de l'urbanisation

Action 9 : Biodiversité, écosystèmes et conservations

Action 10 : Risques naturels

### 1.2 Objectifs de la cartographie d'occupation des sols à l'échelle régionale

La cartographie d'occupation des sols des îles des Petites Antilles constitue l'un des objectifs de l'action 1 du projet CARIBSAT. Elle doit être une première étape vers des analyses thématiques plus spécifiques à l'échelle régionale. Elle doit donc fournir une information généraliste homogène et adaptée à l'ensemble des îles des Petites Antilles. Elle doit aussi proposer une échelle cartographique s'insérant entre l'échelle globale et l'échelle locale.

L'ensemble de l'information produite doit permettre d'alimenter des modèles d'observation de l'environnement, de préservation de la biodiversité, de suivi de l'urbanisation, de gestion des risques naturels à l'échelle régionale, etc.

### 1.3 Zone d'étude

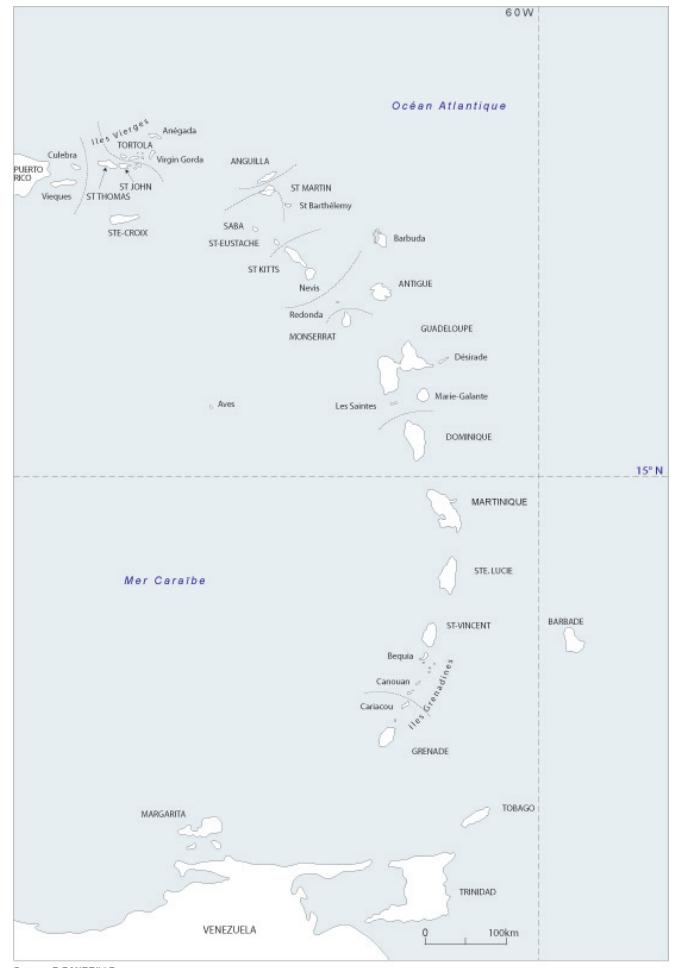
La zone d'étude est constituée d'un chapelet de petites îles d'origine volcanique ou corallienne qui s'étend des îles Vierges au Nord à Trinidad au Sud de l'arc Antillais. Il s'agit de l'ensemble régional des Petites Antilles « au vent » excluant les îles « sous » le vent comprises entre Margarita et Aruba.

Ces îles sont régies par des statuts administratifs variés. Elles comprennent :

- des territoires d'outre-mer européens :
  - du Royaume-Unis : Anguilla, Montserrat et les îles Vierges Britanniques (statut européen de PTOM)
  - des Pays-Bas : Saba et Saint-Eustache (entités publiques néerlandaises)

- de France : Guadeloupe, Martinique (DROM), Saint-Martin et Saint-Barthélemy (COM)
- des territoires des Etats-Unis d'Amérique non-incorporés et organisés :
  - Culebra et Vieques (Porto-Rico)
  - Saint-Thomas, Saint-John et Sainte-Croix (îles Vierges Américaines)
- des Etats indépendants :
  - Saint-Marten (Etat autonome du Royaume des Pays-Bas)
  - Saint Kitt's & Nevis
  - Antigua & Barbuda
  - Dominica
  - Saint-Lucia
  - Barbados
  - Saint Vincent and the Grenadines
  - Grenada
  - Trinidad & Tobago

L'ensemble des terres émergées couvre une superficie de plus de 12 000 km<sup>2</sup>.



## 1.4 Données utilisées

### i. Images satellites :

La cartographie d'occupation des sols a été réalisée à partir d'images satellites SPOT 5 acquises par la station SEAS en Guyane.

Les images SPOT 5 utilisées comprennent :

- 4 canaux spectraux (vert, rouge, PIR et MIR) à 10 m de résolution spatiale, et
- 1 canal panchromatique à 5 m de résolution spatiale

N'ayant pas la possibilité de programmer le satellite pour l'acquisition des images, celles-ci ont été choisies dans les archives de la station SEAS suivant plusieurs critères :

- Des critères d'ennuagement et de nébulosité : seules les images présentant des surfaces émergées suffisamment dégagées ont été choisies.
- Des critères de saturation : les images présentant un signal saturé sur certains canaux n'ont pas été retenues.
- Des critères de dates : l'ensemble des images ont été sélectionnées à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2008 de manière à obtenir une carte d'occupation des sols avec une cohérence temporelle.

En tout, 84 images acquises entre le 02-09-2008 et le 21-02-2011 ont été retenues pour la réalisation de la cartographie d'occupation des sols. Les références des images utilisées sont détaillées dans le tableau A1 de l'annexe 1.

Par ailleurs, des images SPOT 4 et SPOT 5 complémentaires ont été utilisées pour réaliser une orthorectification de base de l'ensemble de la zone d'étude (Cf. David Réchal, 2010). Ces images, plus anciennes, ont également été retenues dans l'éventualité d'une observation des dynamiques de surface. Le détail de ces données figure dans le tableau A2 de l'annexe 1.

## ii. Données auxiliaires

L'utilisation d'un modèle numérique de terrain (MNT) était nécessaire pour l'orthorectification des images. Le MNT SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) a été utilisé choisi car il est libre d'accès, il couvre l'ensemble de la zone d'étude et il constitue la donnée la plus précise disponible à l'échelle régionale. Sa résolution spatiale est de 90 m. Le GDEM Aster, n'a pas été retenu malgré une meilleure résolution spatiale (30m) car les artefacts et valeurs aberrantes étaient très nombreuses notamment sur les zones de relief.

*Note : L'ensemble de ces données sont stockées dans les dossiers :*

/CARIBSAT-CHEULA/SPOT 1A/2008-2011  
/CARIBSAT-CHEULA/SPOT 2A/2005-2006  
/CARIBSAT-CHEULA/MNT/SRTM  
/CARIBSAT-CHEULA/MNT/ASTER

## 2. L'APPORT D'UNE CARTOGRAPHIE REGIONALE D'OCCUPATION DES SOLS

### 2.1 Occupation des sols et environnement

Les activités humaines sur le milieu naturel se reflètent directement dans l'occupation et l'utilisation des sols. Depuis plusieurs décennies, la recherche scientifique met en évidence les impacts de l'occupation des sols sur l'environnement. A l'échelle globale, de nombreuses études ont montré les relations directes existant entre l'occupation des sols et les émissions de gaz à effet de serre, les variations de températures de surface et les dérèglements climatiques (Houghton & Hackler, 2001, Foley *et al.*, 2005, Mahmood *et al.*, 2010). Par ailleurs, ces mêmes liens entre utilisation des sols et climat ont été établis à des échelles locales ou régionales (Pitman *et al.* 2004, Pielke Sr. 2005, Diffenbaugh 2009).

D'autres impacts des formes et changements dans l'occupation des sols ont également été mis en évidence : dégradation de la biodiversité (Haines-Young 2009, Trisurat *et al.* 2010), perturbations hydrologiques et érosion des sols (Kalyanapu 2009, Nunes 2011).

A l'échelle régionale des Petites Antilles, une cartographie d'occupation des sols fournit une information importante, d'une part pour la compréhension des variations climatiques locales et d'autre part, pour l'évaluation de la vulnérabilité des écosystèmes dans ce qui est considéré comme un « hot spot » de la biodiversité mondiale (Myers *et al.* 2000, Brooks & Smith 2001). Enfin dans un contexte régional de risques naturels importants (activité sismique et volcanique, phénomènes météorologiques marins), la cartographie d'occupation des sols constitue une donnée précieuse pour les décideurs et aménageurs locaux.

### 2.2 Données existantes

#### 2.2.1 Cartographie mondiale d'occupation des sols

Depuis le milieu des années 1990, alors que les données de télédétection à basse résolution spatiale se sont développées, plusieurs cartographies mondiales d'occupation / utilisation des sols ont été

produites. Chacun de ces projets a conduit à proposer des nomenclatures particulières. GLC2000, produit à partir du capteur SPOT-VEGETATION a développé la typologie 'Land Cover Classification System' (LCCS, Di Gregorio *et al.*, 2000). Le projet Global Land Cover Facility, réalisé par l'université du Maryland a conçu sa propre typologie (UMD, Hansen *et al.*, 2000). Plus récemment, le projet Globcover ayant produit deux cartographie mondiale d'occupation des sols en 2006 et 2009, a utilisé une version modifiée du LCCS (Bontemps *et al.*, 2010), de même que le projet ISCGM (ISCGM, 2011). La couverture MODIS d'occupation des sols, réalisée chaque année depuis 2002 utilise la nomenclature Internationale Geosphere-Biosphere Program (IGBP, Loveland *et al.*, 1997, Friedl *et al.*, 2010). Enfin, dans les années 1970, l'USGS a proposé une nomenclature encore couramment utilisée, avec différents niveaux de description, élaborée pour les cartographies à partir d'images de télédétection (Anderson *et al.*, 1976).

	Acquisition Date	Resolution	Sensor	Classification scheme
<b>GLC2000</b>	2000	30 arc second	Spot Vegetation	LCCS (23 classes)
<b>GLCF/UMD</b>	1981 to 1994 data	1 km	AVHRR	UMD (14 classes)
<b>Globcover (ESA)</b>	Two coverage : 2006 and 2009	1/360 degree	MERIS	LCCS (23 classes)
<b>ISCGM (Cambridge)</b>	2003	30 arc second	MODIS	LCCS modified (20 classes)
<b>MODIS (USGS)</b>	Yearly coverage since 2002	500 m	MODIS	IPGB (17 classes)

Tableau 2.1 : Les projets de cartographie mondiale d'occupation des sols

Les tableaux 2.2 et 2.3 établissent les correspondances de classe entre les différentes nomenclatures utilisées à l'échelle mondiale. Ils présentent également les disparités des résultats obtenus par chacune de ces productions dans l'ensemble régional des Petites Antilles. En effet, on remarque que pour des productions réalisées à des dates identiques (à 1 an près), les taux de couverture des grands ensembles de classes varient considérablement d'une donnée à une autre. Le taux de couverture forestière varie de 39,80% pour la couverture MODIS à 54,96 % pour la couverture ISCGM produite respectivement en 2000 et en 2001. La végétation non-forestière, elle, varie de 2.06 % pour la couverture MODIS 2001 à 20,38 % pour la couverture GLC2000. Des écarts du même ordre sont constatés entre les productions MODIS 2006 et GlobCover 2006.

Ces écarts s'expliquent par l'échelle globale de ces productions cartographiques (voir les résolutions du tableau 2.1) et par le caractère réduit des territoires insulaires des Petites Antilles. En effet, la zone d'étude regroupe un ensemble d'îles de petite taille (toutes inférieures à 1200 km<sup>2</sup> à l'exception de Trinidad) et dont l'occupation des sols se présente de manière très mosaïquée et entremêlée. La résolution de la donnée utilisée pour des cartographies à l'échelle globale n'est ici pas du tout adaptée, dans la mesure où des pixels de résolution 500\*500 m voir 1\*1 km représenteront presque toujours un mélange de plusieurs classes différentes.

La figure 2.1 montre des exemples de résultats cartographiques de l'ISCGM, GLC2000 et MODIS 2001, obtenus en Martinique, à la Barbade et à Antigua. Les couleurs des classes d'occupation des sols en fond, dans le tableau 2.2 correspondent à celles des vignettes de la figure 2.1. On remarque qu'en plus des disparités de distribution de types d'occupation des sols, les variations spatiales sont très importantes. L'incertitude de ces données produites à l'échelle mondiale pour la région des Petites Antilles montre l'intérêt d'une cartographie d'occupation des sols à un échelon régional intermédiaire.

CLC2000 1999-2000 1km				ISCGM (2000) 1km (LCCS)				MODIS 2001			
Classification scheme (LCCS)	Coverage (%)	Group of class	Coverage (%)	Classification scheme (LCCS)	Coverage (%)	Group of class	Coverage (%)	Classification scheme (IGBP)	Coverage (%)	Group of class	Coverage (%)
Tree-evergreen-broadleaf	34,24	Forest vegetation	43,79	Evergreen Broadleaf	35,77	Forest vegetation	54,96	Evergreen Broadleaf Forest	33,17	Forest vegetation	39,80
Tree-deciduous-broadleaf-closed	0,01			Deciduous broadleaf	1,76			Deciduous Broadleaf Forest	2,38		
Tree-deciduous-broadleaf-open	0,00			Tree open	11,48			Evergreen Needleleaf Forest	0,73		
Tree-needleleaf-evergreen	9,49			Needleaf evergreen	5,86			Deciduous Needleleaf Forest	0,06		
Tree-needleleaf-deciduous	0,00			Needleaf deciduous	0,06			Mixed Forest	3,45		
Tree mixed-leaf-type	0,05			Mixed forest	0,03						
Tree-flooded-fresh-water	3,06			Wetland	0,69			Permanent Wetlands	9,34		
Tree-flooded-salt-water	0,00	Flooded vegetation	3,06	Mangrove	1,43	Flooded vegetation	2,12			Flooded vegetation	9,34
Tree-other vegetation	0,73	Forest and non-forest vegetation		Herbaceous sparse tree	2,35	Forest and non-forest vegetation	2,35	Woody Savannas	3,28	Forest and non-forest vegetation	3,28
Schrub deciduous	0,14	Non-forest vegetation	20,38	Schrub	4,23	Closed Shrublands		0,73			
Herbaceous	7,57			Herbaceous	2,75	Open Shrublands		0,11	Non-forest vegetation	2,06	
Sparse herbaceous	8,36			Sparse vegetation	5,62	Savannas		0,52			
Flooded herbaceous	4,32					Grasslands		0,70			
Cultivated	15,78	Agricultural areas and/or vegetation	29,76	Cropland	25,71	Agricultural areas and/or vegetation	26,57	Croplands	10,60	Agricultural areas and/or vegetation	38,70
Cropland and tree	10,85			Paddy field	0,00			Cropland/Natural Vegetation Mosaic	28,10		
Cropland and grass	3,13			Cropland /other veg	0,86						
Bare areas	0,09	Bare areas	0,09	Bare areas (solid)	0,01	Bare areas	0,03	Barren or Sparsely Vegetated	1,23	Bare areas	1,23
				Bare areas (sandy)	0,01			Snow and Ice	0,10		0,10
Built up artificial	2,19	Built up	2,19	Urban	1,39	Built up	1,39	Urban and Built-Up	5,49	Built up	5,49
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>		<b>100,00</b>		<b>100,00</b>		<b>100,00</b>		<b>100,00</b>		<b>100,00</b>

Tableau 2.2 : Nomenclature des cartes d'occupation des sols mondiale (GLC2000, ISCGM, MODIS 2001) et taux de couvertures des classes dans les Petites Antilles

<b>GlobCover 2006 500 m (LCCS)</b>					<b>MODIS 2006</b>				
Classification scheme (LCCS)	Coverage (%)	Group of class	Coverage (%)		Classification scheme (IGBP)	Coverage (%)	Group of class	Coverage (%)	
Closed to open broadleaved evergreen or semi deciduous forest	57,83	Forest vegetation	58,71	Evergreen Broadleaf Forest	40,06	Forest vegetation	41,96		
Tree-deciduous-broadleaf-closed	0,26			Deciduous Broadleaf Forest	0,31				
Open broadleaved deciduous forest-woodland	0,00								
Closed needleleaved evergreen forest	0,60			Evergreen Needleleaf Forest	0,81				
Open needleleaved deciduous or evergreen forest	0,00			Deciduous Needleleaf Forest	0,24				
Closed to open mixed broadleaved and needleleaved forest	0,02			Mixed Forest	0,54				
Flooded forest fresh	2,95	Flooded vegetation	4,80	Permanent Wetlands	13,60	Flooded vegetation	13,60		
Flooded forest salt	1,06								
Flooded grassland	0,79								
Mosaic forest or shrubland - grassland 20-50	1,66	Forest and non-forest vegetation	6,09	Woody Savannas	0,65	Forest and non-forest vegetation	1,21		
Mosaic grassland forest or shrubland 20-50	0,00								
Closed to open broadleaved or needleleaved evergreen or deciduous shrubland	1,61			Closed Shrublands	0,21				
Herbaceous	2,75			Open Shrublands	0,05				
				Savannas	0,17				
Sparse vegetation	0,07			Grasslands	0,14				
Post-flooding or irrigated croplands	0,00	Agricultural areas and/or vegetation	28,41			Agricultural areas and/or vegetation	37,20		
Rainfed croplands	3,47			Croplands	6,76				
Mosaic cropland 50-70	7,44			Cropland/Natural Vegetation Mosaic	30,44				
Mosaic vegetation 50-70	17,50								
Bare areas	0,54	Bare areas	0,54	Barren or Sparsely Vegetated	0,75	Bare areas	0,75		
Snow ice	0,00			Snow and Ice	0,03			0,03	
Artifical built up	1,46	Built up	1,46	Urban and Built-Up	5,25	Built up	5,25		
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>		<b>100,00</b>		<b>100,00</b>		<b>100,00</b>		<b>100,00</b>

Tableau 2.3 : Nomenclature des cartes d'occupation des sols mondiale (GlobCover 2006, MODIS 2006) et taux de couvertures des classes dans les Petites Antilles

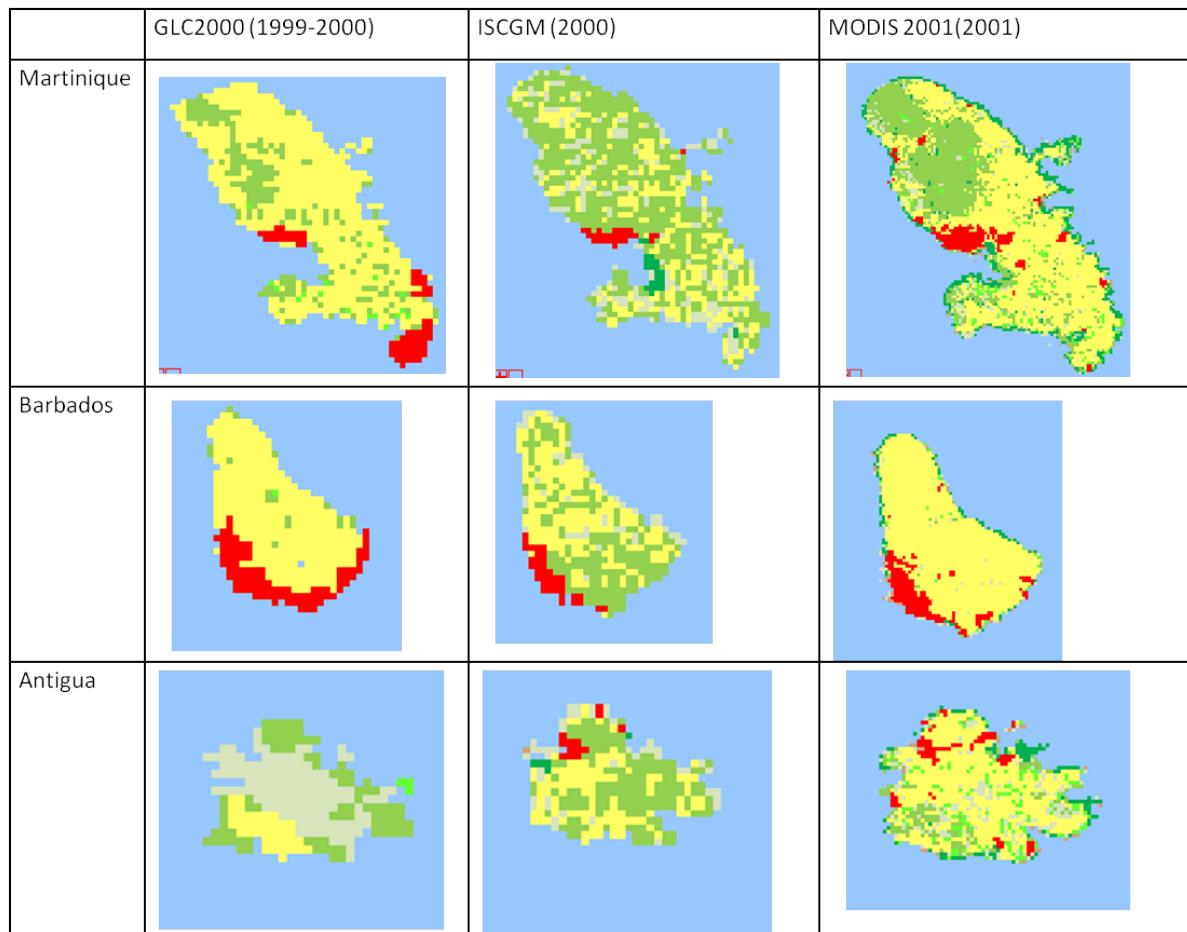


Figure 2.1 : Détails de cartes d'occupation des sols mondiales dans les Petites Antilles

L'incertitude de ces données produites à l'échelle mondiale pour la région des Petites Antilles montre l'intérêt d'une cartographie d'occupation des sols à un échelon régional intermédiaire.

*Note : Les traitements statistiques effectués sur les couvertures mondiales dans les îles des Petites Antilles se retrouvent dans le dossier : /CARIBSAT-CHEULA/MNT/landuse-global*

### 2.2.2 Les productions locales d'occupation des sols

Plusieurs cartographies d'occupation des sols ont été produites localement dans la zone d'étude. Certaines de ces productions apparaissent dans le tableau 2.4. La liste a été établie à la suite d'une recherche faite exclusivement sur les cartes d'occupation des sols locales réalisées à partir d'images satellites. Elle n'est pas exhaustive et peut-être complétée. Il manque principalement à cette liste la cartographie d'occupation des sols de Trinidad réalisée par l'Université des West Indies (UWI) à Port-of-Spain.

Le détail des nomenclatures utilisées (tableau 2.5) varie en fonction des orientations données à la cartographie d'occupation des sols. Certaines d'entre elles se focalisent particulièrement sur les milieux naturels (Helmer *et al.* 2008, Kennaway *et al.* 2008, Graveson 2009). D'autres proposent des typologies très simplifiées pour une cartographie plus généraliste (Soto Viruet 1999, Ramsewak, 2007).

Dans tous les cas, l'hétérogénéité des typologies choisies d'une part et des données utilisées d'autre part, exclue la possibilité d'étudier des dynamiques des activités humaines et leurs impacts sur l'environnement, le climat, les écosystèmes sensibles, la biodiversité à l'échelle régionale.

Island	Object	Year	Data	Process	Classification scheme
<b>Vieques</b>	Land use / land cover	1999	Ikonos	Supervised classifiers	USGS Level 1
<b>St Kitt's, Nevis</b> <b>Grenada</b> <b>Barbados</b> <b>St Eustatius</b>	Land cover and forest formation distribution	1999-2000	Landsat ETM + and Landsat TM	Supervised classifiers	Areces-Mallea and US-FGDC
<b>Virgin islands</b>	Land cover and forest structure	2000	Landsat TM- TM+ and coarse resolution Lidar		Areces-Mallea and US-FGDC
<b>Saint Lucia</b>	Vegetation Map	2009	Ikonos + field data	Photo-interpretation	H. Stehlé, J. Beards
<b>Tobago</b>	Land use / Land cover	200-2002	Landsat ETM+	Supervised classifiers	Anderson

Tableau 2.4 : Cartographie locale d'occupation des sols dans les îles de Petites Antilles

Finalement la donnée disponible, qu'elle soit produite à une échelle globale ou locale montre la pertinence d'une production cartographique d'occupation des sols à une échelle intermédiaire. L'échelle régionale permet en effet une observation des phénomènes environnementaux et des impacts de l'activité humaine dans un ensemble géographique cohérent.

### 2.3 Choix de la nomenclature

La nomenclature a été choisie suivant plusieurs types contraintes (Cheula, 2011) :

- La donnée satellite disponible : les classes retenues doivent pouvoir être différenciées à partir de la donnée SPOT5 utilisée.
- L'environnement régional : les classes retenues doivent être représentatives des grands types d'occupation des sols présents dans les îles des Petites Antilles.
- Les nomenclatures existantes : les classes choisies doivent correspondre à des entités existantes dans les nomenclatures couramment utilisées à l'échelle mondiale ou locale.

Pour répondre à l'ensemble de ces contraintes, c'est le premier niveau de classification de la typologie d'Anderson qui a été retenu (Anderson, 1976), avec quelques modifications. Cette nomenclature, simplifiée et généraliste est représentative des grands types d'occupation des sols dans les îles des Petites Antilles. Elle se décline en 7 classes pouvant regrouper des ensembles cohérents présents dans les nomenclatures utilisées à l'échelle globale et à l'échelle locale (voir tableau 2.2, 2.3 et 2.5). Enfin, les classes choisies peuvent être distinguées à partir de traitement de la donnée SPOT 5 sachant que celle-ci ne permet pas de traiter l'information de manière saisonnière.

St Kitt's, Nevis, Grenada, Barbados, St Eustatius, Virgin Islands	Saint Lucia	Tobago	Vieques	Anderson
High-Medium Density Urban / Low Density Urban	Built up areas / Under construction	Urban	Urban	Urban
<i>Agriculture land</i> Sugar cane Minor crops (including sugar cane in Grenada) Nutmeg and Mixed Woody Agriculture Coconut Palm and Mixed Woody Agriculture (including Cacao, Banana, other) Coconut Palm-Pasture Pasture, Hay or Inactive Agriculture or other Grassy Areas	<i>Agricultural land</i> Mixed farming with deciduous seasonal forest Mixed farming with semi-evergreen seasonal forest Mixed farming with lower Montane forest	Savanna / agriculture	-	Agricultural land
<i>Non-forest vegetation</i> Pasture, Hay or Inactive Agriculture Pasture, Hay or other Grassy Areas Golf course Golf Drought Deciduous Woodland Lower Montane, Non-Forest Vegetation (e.g. <i>Miconia</i> thicket) Steep Non-Forest Vegetation Seasonally Flooded Savannas and Woodland	<i>Non-forest vegetation</i> Elfin shrubland Herbaceous swamp Littoral sand vegetation Littoral Scrub including Cactae Fumarole vegetation Grassland with few trees or shrub			
<i>Mixed shrub and forest vegetation</i> Deciduous, Evergreen Coastal and Mixed Forest or Shrubland Drought Deciduous Forest/Shrub Elfin and Sierra Palm Cloud Forest	<i>Mixed shrub and forest vegetation</i> Littoral evergreen forest and shrubland	Forest / Bamboo	Forest land	Forest vegetation
<i>Forest vegetation</i> Semi-Deciduous and Drought Deciduous Forest (includes Semi-Evergreen Forest) Semi-Deciduous Forest (includes Semi-Evergreen Forest) Seasonal Evergreen Forest with Coconut Seasonal Evergreen Forest Evergreen Forest Seasonal Evergreen and Evergreen Forest (combined) Sierra Palm, Transitional and Tall Cloud Forest	<i>Forest vegetation</i> Littoral evergreen forest and shrubland Freshwater swamp forest Deciduous seasonal forest Semi-evergreen seasonal forest Lower Montane rainforest Montane rainforest Tree plantation			
Mangrove	Mangrove	Mangrove	Wetland	Mangrove
<i>No vegetation</i> Quarries Quarry Coastal Sand, Rock and Bare Soil Bare Soil (including bulldozed land)			Barren land	Barren land
Water - permanent		Water	Water	Water

Tableau 2.5 : Typologie des cartographies locales d'occupation des sols dans les îles des Petites Antilles

1 - Bâti	Toutes surfaces construites : bâtiment, route, zone industrielle, surfaces bitumées
2 - Zone agricole ou végétalisée	Tout espace d'agriculture et d'élevage, jachère et végétation anthropisée
3 - Végétation forestière	Toute formation végétale ligneuse en dehors des mangroves
4 - Végétation non-forestière	Toute formation végétale herbacée à arbustive
5 – Mangrove	Formations côtières de palétuvier + systèmes d'arrière mangrove
6 - Sol nu	Toute surface non végétalisée et non-bâtie
7- Eau	Continentele et océanique

Tableau 2.6 : Les sept classes d'occupation / utilisation des sols retenues pour la cartographie régionale

Par ailleurs, les sept classes ont été divisées de manière à pouvoir distinguer les zones anthropisées des espaces naturels. Cette distinction est utile pour l'évaluation des impacts des activités humaines sur les milieux naturels sensibles, l'hydrologie, les processus d'érosion ou de pollution, la biodiversité, etc. Elle est également utile pour délimiter les corridors écologiques, les trames vertes et bleues, etc.

## 1. METHODOLOGIE DE TRAITEMENT DE LA DONNEE

La cartographie d'occupation des sols a été effectuée selon une méthode « orientée pixel » de traitement d'image satellite. La méthode orientée pixel a été retenue afin de maximiser l'automatisation des traitements. Ainsi, sur l'ensemble de la zone d'étude, les traitements effectués ont été identiques. Ils sont donc reproductibles et peuvent être appliqués sur de nouvelles données pour des mises à jour. Enfin, les résultats sont comparables d'une île à une autre et d'une date à une autre dans la mesure où ils sont obtenus à partir d'un même protocole.

Par ailleurs, une méthode de traitement « orientée objet », moins automatisée a été appliquée pour la classification des images sur une partie de la zone d'étude. Ces nouveaux traitements ont été effectués dans le but de comparer l'efficacité et les temps de traitement des deux méthodes. Le détail de la méthodologie de cette nouvelle classification apparaît dans le rapport de C. Révillion (Révillion, 2012) et dans la communication présentée à la conférence ISISA (Révillion *et al.*, 2012).

### 1.1 Logiciels utilisés

Les logiciels utilisés sont les suivants :

- Traitement d'image :
  - ❖ ENVI 4.8 / IDL
  - ❖ ERDAS IMAGINE 2010
  - ❖ ECognition Developer 8.7
  - ❖ GeoView
- Logiciels SIG
  - ❖ ArcGis 10.
  - ❖ QGIS 1.6

### 3.2 Pré-traitements

Préalablement au travail de classification thématique de l'image, des prétraitements ont été effectués selon la figure 3.1.

#### 3.2.1 Orthorectification

Le travail d'orthorectification des images n'a pas été automatisé pour des raisons de fonctionnalité des outils de recalage. Ainsi les images SPOT 5 acquises en niveau 1A ont été orthorectifiées à partir d'une la toile de fond de référence de la zone d'étude, réalisée par D. Réchal avec le logiciel Geoview-IGN (Réchal, 2010). L'orthorectification des images utilisées pour la classification a été faite avec le logiciel ERDAS Imagine.

Par ailleurs, un outil de recalage automatique d'images en cours de validation a été développé au niveau de la Maison de la Télédétection à Montpellier par Y. Moreau (Moreau 2011).

*Note : Les images orthorectifiées sont stockées dans les dossiers :*  
*/CARIBSAT-CHEULA/SPOT 1A/2008-2011*

#### 3.2.2 Correction radiométrique

Les images SPOT 5 ont été corrigées radiométriquement suivant le modèle de correction établi par le Centre National d'Etude Spatial (CNES, Meygret, 2006). La réfléctance  $\rho_{TOA}^k$  « top of atmosphere » (TOA) pour les bandes (k) de chacune des images est calculée selon l'équation suivante :

$$\rho_{TOA}^k = \frac{\pi \cdot L_{TOA}^k}{E_S^k \cdot \cos\theta_S \cdot (d_0/d)^2}$$

où :

- $L_{TOA}^k$  est la radiance TOA pour chacune des bandes (k) de l'image, calculée à partir du compte numérique  $X^k$  de l'image suivant la relation :

$$L_{TOA}^k = \frac{X^k}{A^k \cdot G^k}$$

➤  $A^k$  et  $G^k$  sont respectivement le coefficient de calibration et le gain de chacune des bandes, fournis par le fichier DIMAP attaché à l'image.

- $E_S^k$  est l'irradiance solaire moyenne pour chacune des bandes de l'image (donnée CNES)
- $d_0/d$  est le ratio de la distance Terre-Soleil ( $d_0$ ) au moment de l'acquisition de l'image sur la distance moyenne Terre-soleil, calculé pour la date d'acquisition par une équation d'éphéméride.
- $\theta_S$  est l'angle zénithal solaire. Pour prendre en compte les effets des pentes du relief  $\cos\theta_S$  est remplacé par (Mahmoud El Hajj et al., 2008) :

$$\beta_s = \cos\theta_s \cdot \cos\theta_n + \sin\theta_s \cdot \sin\theta_n \cdot \cos(\varphi_s - \varphi_n)$$

où  $\theta_n$  est la pente,  $\varphi_s$  est l'angle azimutal du soleil (fourni dans le fichier DIMAP) et  $\varphi_n$  est l'azimut de pente. La pente et l'azimut de pente sont calculés à partir du MNT SRTM (90 m de résolution spatial).

Afin d'automatiser la correction radiométrique, un programme IDL a été codé de manière à rechercher les informations nécessaires au calcul de l'équation, dans le DIMAP attaché à l'image (voir les codes en annexe 2).

### 3.2.3 Correction atmosphérique et normalisation des images

Les corrections atmosphériques permettent de s'affranchir des effets de diffusion et d'absorption du signal par l'atmosphère. Elles sont nécessaires lorsque l'on veut obtenir des grandeurs physiques de la réflexion de la lumière par les surfaces étudiées afin de comparer plusieurs images entre elles. Les corrections atmosphériques nécessitent des données sur la composition de l'atmosphère au moment de l'acquisition de l'image (épaisseur optique de l'atmosphère). Ces données ne sont pas toujours disponibles surtout quand les images utilisées sont issues d'archives.

On peut alors procéder à une normalisation radiométrique des images. Il existe plusieurs méthodes de normalisation : Dark subtract, normalisation à partir d'une sélection de points invariants, méthode MAD (Canty, 2004). Ces méthodes ne donnent pas toujours de bons résultats ou sont difficilement automatisables. Nous avons donc choisi de ne pas procéder à des normalisations radiométriques et de travailler sur chacune des images séparément.

### 3.2.4 Détection des nuages et ombres de nuage

La détection des nuages et ombres de nuage a été automatisée de la manière suivante :

- Nuages

$I$  = bande rouge ou verte de l'image SPOT 5 et  $(x,y)$  = la position générique d'un pixel

i. le contraste des valeurs hautes de l'image est rehaussé par une fonction exponentielle :

$$I'(x,y) = I(e^{x,y}/255)$$

ii. Une ouverture morphologique est appliquée à l'image (érosion suivie d'une dilatation) pour éliminer les éléments brillants les plus petits et rehausser les contours des éléments les plus brillants.

iii. On cherche à seuiller l'image automatiquement en utilisant l'histogramme :  $H(z)$  est la fonction histogramme de l'image obtenue après ouverture et  $z$  est le nombre de pixel pour chacune des valeurs comprise dans l'image.  $H'(z)$  est la fonction dérivée de l'histogramme telle que :

$$H'(z) = H(z-1).H(z+1)$$

Seuil =  $\min(H'(z))$

iv. Une ouverture morphologique par reconstruction est appliquée à l'image binaire pour éliminer les éléments les plus petits correspondant pour la plupart à des éléments bâtis.

- Cloud shadow detection

$I$  = bande PIR ou MIR de l'image SPOT 5 et  $(x,y)$  = la position générique d'un pixel

i.  $H(z)$  est la fonction histogramme de l'image

$H''(z)$  est la dérivée seconde de la fonction histogramme. Elle permet d'isoler le pic correspondant à l'ombre des nuages.

ii.  $t$  = la valeur du pic de l'histogramme utilisée pour le ré-étalement des valeurs de l'image de départ suivant la formule :

$$I'(x, y) = \frac{255 * (I(x, y) - t)}{(255 - t)}$$

iii. Une fermeture morphologique est appliquée sur ( $I'$ ) pour éliminer le bruit correspondant aux plus petits éléments sombres.

iv. La dérivée de l'histogramme de l'image après fermeture permet de définir automatiquement le meilleur seuil pour l'identification de l'ombre des nuages.

Cette chaîne de traitement permet une pré-identification des nuages et ombres de nuages. Sur certaines images, une retouche manuelle est toutefois nécessaire.

Un programme IDL a été codé pour automatiser ces traitements (voir annexe 2).

### 3.3 Algorithme de classification

#### 3.3.1 Choix de l'algorithme

L'algorithme de classification devait répondre à plusieurs contraintes. D'une part, il devait être adapté aux territoires très morcelés des îles des Petites Antilles, où les risques de confusion entre les classes d'occupation des sols sont nombreux. D'autre part, il devait être le plus automatique possible de manière à rendre le traitement d'images facilement reproductible et dynamique dans le temps.

Nous avons donc écarté de l'étude les algorithmes de classification non-supervisée qui ont l'avantage de ne pas nécessiter de sélection de zones d'entraînement, mais qui ont l'inconvénient d'être très couteux en post-traitements.

La méthode de classification orientée objet a été testée sur une partie de la zone d'étude. Les résultats sont satisfaisants (Révillion, 2012), mais la méthode n'est pas facilement reproductible et est donc très couteuse en temps de travail.

Nous avons donc choisi d'utiliser un algorithme de classification supervisé sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces algorithmes, qui nécessitent la sélection de parcelles d'entraînement sont nombreux. Le plus couramment utilisé est l'algorithme de classification par maximum de vraisemblance, mais il en existe d'autres : distance minimale à la moyenne, parallélépipède, distance de Mahalanobis, etc. Ces algorithmes permettent l'utilisation de paramètres statistiques pour la séparation des classes. Généralement, ces paramètres reposent sur l'hypothèse d'une distribution gaussienne des données.

Il existe d'autres algorithmes dit non-paramétriques ne reposant pas sur l'hypothèse d'une distribution gaussienne des données. Plusieurs d'entre eux ont été testés :

- l'arbre de décision C4.5 (Quinla, 1993) avec le logiciel libre Weka (Bouckaert, 2010),

- Classificateur par réseaux de neurones (Bishop, 1995) accéléré selon la méthode M.J. Canty (2009),
- Séparateur à vaste marge ou Support Vector Machine (Cortes *et al.*, 1995).

C'est l'algorithme SVM qui a été utilisé d'une part pour sa simplicité d'exécution dans le logiciel ENVI 4.8 et d'autre part pour les résultats satisfaisants obtenus.

### 3.3.2 L'algorithme SVM

L'algorithme SVM repose sur l'utilisation d'une fonction noyau. Une grande variété de noyaux ont été développés pour l'amélioration de la méthode (Hsu *et al.* 2003). Dans nos traitements, seuls les noyaux les plus couramment utilisés et implémentés dans ENVI ont été étudiés :

- polynomiale
- RBF
- sigmoïdale

A ces fonctions s'associent des paramètres permettant d'affiner le résultat de la classification :

- le « paramètre de pénalité » C qui permet d'établir un compromis entre la minimisation de l'erreur d'apprentissage et la maximisation de la marge,
- le paramètre « Gamma » qui intervient dans la fonction noyau si celle-ci est gaussienne, polynomiale ou sigmoïdale,
- le degré du polynôme si la fonction noyau est de type polynomiale,
- le biais si le noyau est polynomial ou sigmoïdal.

Le paramètre « pyramid level » crée des sous-échantillons de l'image pour diminuer le temps de calcul. Afin de classer l'image en pleine résolution, il n'a pas été utilisé. Le paramètre « classification probability threshold » permettant de rendre la classification plus ou moins stricte en fonction d'une valeur de probabilité, n'a pas été utilisé, car ce sont des valeurs de moyenne de probabilité qui ont été utilisées pour attribuer chaque pixel à une classe (voir paragraphe suivant).

### 3.3.3 Protocole de classification

Des zones d'entraînement ont été sélectionnées pour chaque classe sur chacune des images par photo-interprétation à partir de l'image même et/ou sur Google Earth, sur la base d'un étalonnage de photo-interprétation fait à partir de relevés de terrain en Martinique à Sainte-Lucie et à Trinidad.

Les images ont chacune été traitées séparément. Afin d'accélérer les temps de calcul, les images ont été divisées en tuile, classées les unes après les autres puis réassemblées. Plusieurs classifications SVM avec différents paramétrages ont été effectuées sur chaque image (Tableau 3.1).

Noyau	Kernel Gamma	Kernel Bias	Kernel degree	Penalty
Polynômial	1/N	1	2-3	100-200-300
RBF	1/N	1	-	100-200-300
Sigmoïdal	1/N	1	-	100-200-300

Tableau 3.1 : Paramétrage des classifications SVM

Les paramétrages choisis correspondent pour la plupart aux paramètres par défaut proposés par le logiciel ENVI. Seuls les noyaux polynomiaux (deuxième et troisième degré), RGB et sigmoïdal ont été utilisés, partant de l'hypothèse que la distribution de la donnée n'était ni linéaire ni gaussienne. On attribut communément au paramètre gamma la valeur 1/N avec N= le nombre de bandes utilisées. Enfin, plusieurs paramètres de pénalité, de l'ordre de grandeur de celui proposé par défaut dans

ENVI, ont été utilisés pour chaque noyau. Ainsi, chaque image a été classée 12 fois. Les images de règles ont été utilisées pour attribuer une probabilité d'appartenance des pixels à chaque classe, calculée suivant une moyenne bayesienne. La classe pour laquelle la probabilité d'appartenance est la plus forte est attribuée au pixel. La figure 3.1 synthétise l'ensemble du protocole de traitement. Les traitements de classification ont été automatisés sous IDL (voir codes en annexe 2).

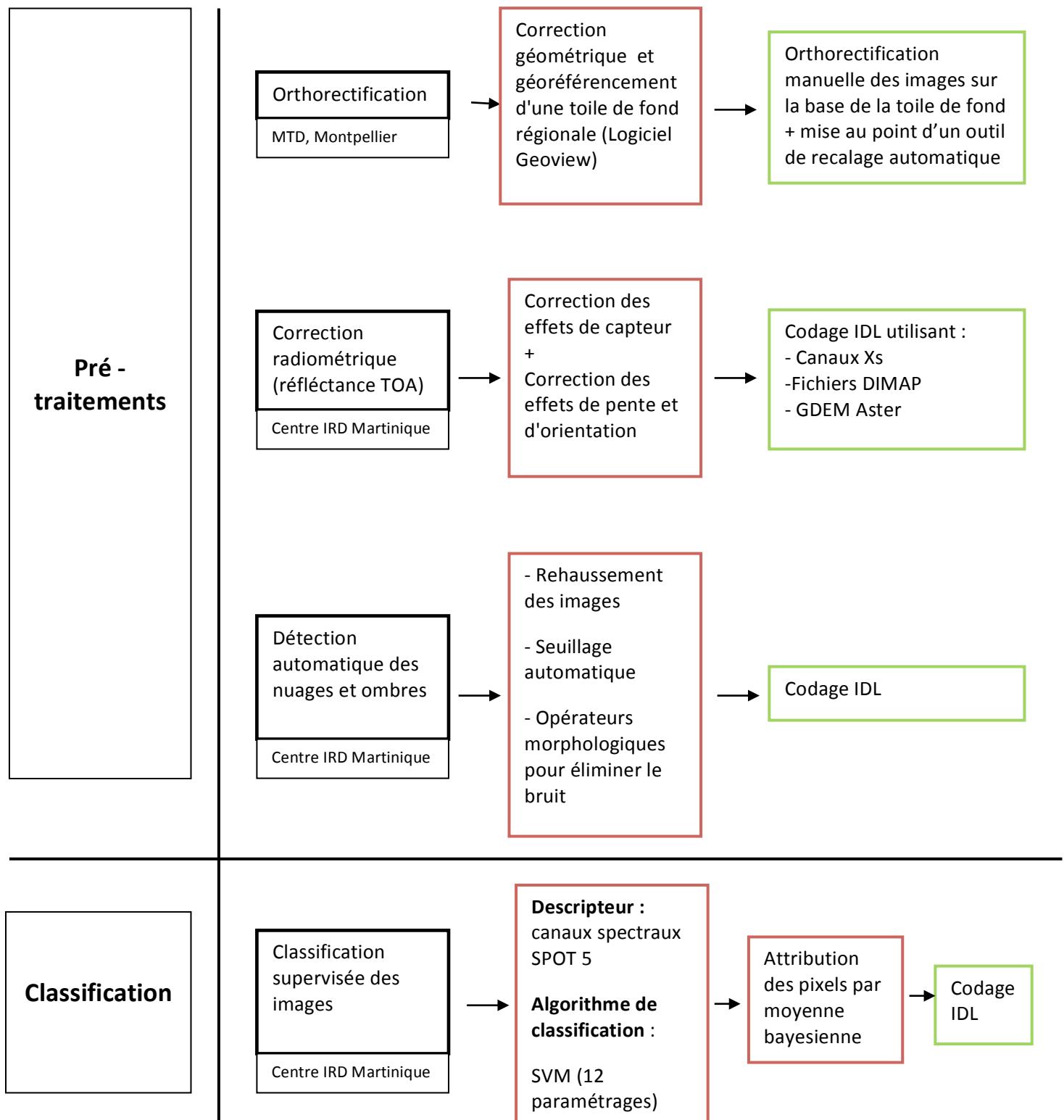


Figure 3.1 : Schéma de synthèse des traitements d'image

### 3.4 Post-traitements

Afin de s'affranchir de certaines confusions évidentes, des post-traitements ont été effectués sur l'ensemble des images classées sur la base de règles de décision établies sur les images elles-mêmes et le MNT SRTM :

- Les pixels affectés à la classe -mangrove- situés à une altitude supérieure à 3 m ont été réaffectés à la classe -végétation forestière.
- Les pixels affectés à la classe -zone agricole- situés sur une pente supérieure à 25° ont été réaffectés à la classe -végétation non-forestière.

*Note : Les classifications de chacune des îles en format vecteur et raster sont stockées dans le dossier :  
/CARIBSAT-CHEULA/résultat-final*

*Les fichiers de code IDL \*.pro sont stockés dans le dossier :*

*/CARIBSAT-CHEULA/code\_idl*

## 4. RESULTATS ET VALIDATION

### 4.1 Résultats

La donnée utilisée a permis de couvrir la zone d'étude à 85,37 % (tableau 4.1). Les 14,63 % de données non-disponibles correspondent à des zones de persistance de nuages notamment sur les reliefs des îles volcaniques, malgré le grand nombre de dates d'acquisition utilisé pour s'en affranchir.

Classes	Taux de couverture (%)	Taux de couverture (%)
		- Nuages non-compris
1 - Bâti	4,26	5,00
2 - Zone agricole ou végétalisée	27,00	31,63
3 - Végétation non-forestière	8,35	9,78
4 - Végétation forestière	42,30	49,55
5 - Mangrove	1,95	2,28
6 - Sol nu	1,06	1,23
7 - Eau	0,45	0,53
No_data	14,63	-
Total	100,00	100,00

Tableau 4.1 : Taux régional d'occupation des sols obtenus

Les résultats montrent des taux d'occupation des sols largement dominés par la végétation forestière qui occupe la grande partie des reliefs volcaniques de ces espaces insulaires. On peut d'ailleurs considérer que ces taux sont sous-estimés dans la mesure où les données manquantes correspondent majoritairement à des zones de relief souvent couvertes de végétation forestière. Suivent les surfaces anthropisées (zones agricoles et bâties) avec un cumul de 36,63% d'occupation des sols. Ces surfaces témoignent d'une activité humaine importante dans la région. Les formations végétales non-forestières sont moins représentées (moins de 10 % de couverture). Enfin, les zones humides de mangrove et d'eau libre apparaissent de manière plus éparses mais non-négligeable. Elles sont largement représentées à Trinidad, en Guadeloupe et en Martinique. Le détail des pourcentages d'occupation des sols par île ou ensemble d'îles apparaît dans le tableau 4.2.

	Bati	Agriculture	Veg. non_foret	Veg. foret	Sol-nu	Mangrove	Eau_continu	No_data	Total
<b>Anguilla</b>	9,46	8,95	68,27	0,00	6,74	0,66	2,47	3,44	100,00
<b>Antigua</b>	6,89	25,79	35,67	17,38	3,41	0,66	1,55	8,66	100,00
<b>Barbados</b>	14,35	52,46	13,73	15,06	3,78	0,00	0,16	0,47	100,00
<b>Barbuda</b>	0,61	0,00	62,76	0,00	11,84	1,56	2,95	20,28	100,00
<b>Dominica</b>	1,76	18,80	2,63	58,10	0,24	0,00	0,08	18,39	100,00
<b>Grenada</b>	4,21	34,04	0,00	17,49	1,19	0,15	0,23	42,69	100,00
<b>Grenadines</b>	6,38	3,32	16,77	59,54	4,69	2,16	0,08	7,07	100,00
<b>Guadeloupe</b>	7,02	41,39	12,26	32,83	0,00	1,83	0,34	4,33	100,00
<b>UK Virgin Islands</b>	2,37	0,00	32,02	52,97	9,34	1,14	1,40	0,77	100,00
<b>US Virgin Islands (St John - St Thomas)</b>	9,31	0,00	19,21	61,04	8,05	0,77	1,34	0,29	100,00
<b>US Virgin Islands (Ste Croix)</b>	11,02	23,33	12,91	29,80	1,17	0,00	0,82	20,95	100,00
<b>Martinique</b>	4,17	36,84	7,72	45,72	0,33	1,43	0,41	3,39	100,00
<b>Montserrat</b>	2,48	0,00	7,60	37,46	19,41	0,00	0,00	33,05	100,00
<b>Porto-Rico (Culebra)</b>	2,54	0,00	29,04	61,09	2,06	1,10	1,56	2,60	100,00
<b>Porto-Rico (Vieques)</b>	1,87	0,00	13,45	68,16	1,70	1,79	1,51	11,52	100,00
<b>Sabba (NL)</b>	2,77	0,00	42,61	33,41	9,03	0,00	0,00	12,17	100,00
<b>St Eustache (NL)</b>	7,96	19,59	23,62	42,42	6,37	0,00	0,04	0,00	100,00
<b>St Kitt's &amp; Nevis</b>	6,57	33,40	13,86	28,63	1,31	0,00	0,23	16,00	100,00
<b>Sain-Martin-Sint Marteen</b>	12,90	2,26	47,24	0,00	3,47	0,75	6,20	27,19	100,00
<b>Saint-Barthelemy</b>	7,46	0,00	74,31	0,00	11,01	0,03	2,55	4,64	100,00
<b>Saint-Vincent</b>	2,21	27,63	1,84	45,50	0,56	0,00	0,12	22,15	100,00
<b>Saint-lucia</b>	2,97	20,20	5,24	45,67	0,76	0,00	0,09	25,06	100,00
<b>Tobago</b>	5,58	17,48	4,14	41,68	1,23	1,20	0,16	28,53	100,00
<b>Trinidad</b>	2,28	24,61	2,15	49,68	2,21	1,37	0,35	17,35	100,00
<b>Total Petites Antilles</b>	<b>4,26</b>	<b>27,00</b>	<b>8,35</b>	<b>42,30</b>	<b>1,95</b>	<b>1,06</b>	<b>0,45</b>	<b>14,63</b>	<b>100,00</b>

Tableau 4.2 : Détail des taux d'occupation des sols par îles ou ensemble d'île

L'ensemble de la donnée d'occupation des sols est visible sur le serveur cartographique du site [www.caribsat.teledetection.fr](http://www.caribsat.teledetection.fr) Des cartes d'occupation des sols en format image (\*.jpg) de chacune des îles ou ensemble d'îles figurent en annexe 3. Ces mêmes cartes sont téléchargeables sous une meilleure résolution (500 à 700 dpi) sur le site du projet.

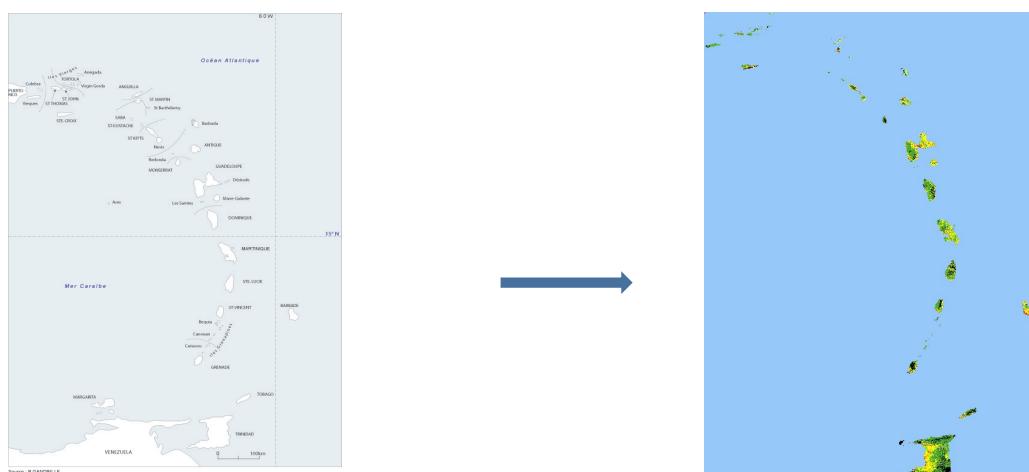


Figure 4.1 : Aperçu de la carte régionale d'occupation des sols

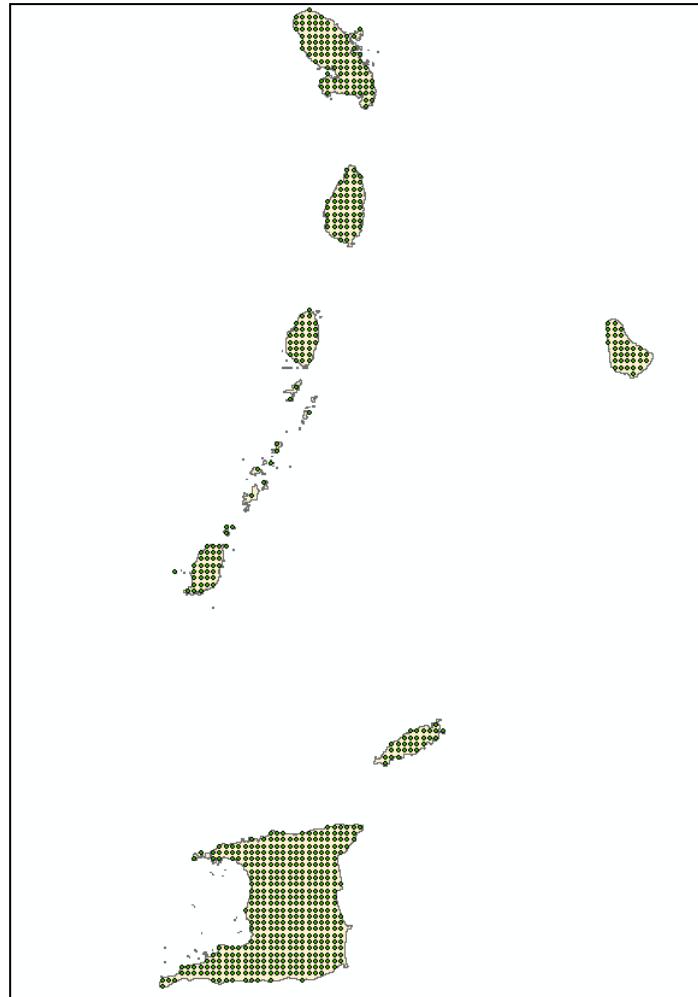
## 4.2 Validation

Afin de pouvoir évaluer la fiabilité de la donnée produite, un travail de validation a été effectué par photo-interprétation de la donnée Google Earth. Un ensemble de points a été sélectionné de manière aléatoire suivant une grille de 3.5 km de maillage couvrant la partie émergée de la zone d'étude. La figure ci-contre illustre le mode de répartition des points sur une partie de la zone d'étude (de la Martinique à Trinidad).

Sur les 1083 points sélectionnés, seuls 788 ont été utilisés de manière effective, les autres se situant en zone nuageuse soit sur la donnée cartographique produite, soit sur la donnée de validation Google Earth.

La méthode de sélection aléatoire a été choisie pour plusieurs raisons :

- il n'était pas envisageable de procéder à des relevés de terrain sur toute la zone d'étude compte-tenu des difficultés d'accès de certaines îles,
- la donnée Google Earth est suffisamment précise pour un bon travail de photo-interprétation,
- la sélection suivant un maillage régulier permet d'obtenir un échantillon représentatif de la zone d'étude avec, pour chacune des classes, un effectif de point proportionnel au taux de couverture de la classe.



Le tableau 4.3 est une matrice de confusion présentant en détail le nombre ou le taux d'individus bien classés dans l'échantillon choisi. L'information qu'elle comporte peut se résumer par deux indicateurs :

- la précision globale définie comme le rapport du nombre de pixels bien classés sur le nombre total d'individus.
- le coefficient de Kappa qui permet de tenir compte des erreurs en ligne et en colonne de la matrice (erreurs d'omission et de commission). Le coefficient de Kappa est défini par l'équation suivante :

$$K = (Po - Pe) / (1 - Pe) \text{ avec}$$

$Po = \text{somme des pixels bien classés} / \text{taille de l'échantillon}$

$Pe = \text{somme des pixels mal classés} / (\text{taille de l'échantillon})^2$

Ici, on obtient une précision globale de 73,85 % et un coefficient de Kappa de 0.73 ce qui constitue un résultat relativement satisfaisant compte-tenu :

- de la semi-automatisation des traitements,
- du caractère totalement aléatoire de l'échantillon de validation,
- de la taille de la zone d'étude et de la reproductibilité des traitements.

	bati	agri	veg-non-forest	veg-forest	sol-nu	mangrove	eau	TOTAL
<b>bati</b>	<b>34</b>	1	0	0	7	0	0	42
<b>agri</b>	3	<b>185</b>	32	20	4	0	0	244
<b>veg-non-forest</b>	0	26	<b>52</b>	5	0	1	0	84
<b>veg-forest</b>	0	50	44	<b>280</b>	0	2	0	376
<b>sol-nu</b>	1	3	0	0	<b>7</b>	0	2	13
<b>mangrove</b>	0	0	1	2	0	<b>11</b>	0	14
<b>eau</b>	1	0	1	0	0	0	<b>13</b>	15
<b>TOTAL</b>	39	265	130	307	18	14	15	<b>788</b>

	bati	agri	veg-non-forest	veg-forest	sol-nu	mangrove	eau	TOTAL
<b>bati</b>	<b>80,95</b>	2,38	0,00	0,00	16,67	0,00	0,00	100,00
<b>agri</b>	1,23	<b>75,82</b>	13,11	8,20	1,64	0,00	0,00	100,00
<b>veg-non-forest</b>	0,00	30,95	<b>61,90</b>	5,95	0,00	1,19	0,00	100,00
<b>veg-forest</b>	0,00	13,30	11,70	<b>74,47</b>	0,00	0,53	0,00	100,00
<b>sol-nu</b>	7,69	23,08	0,00	0,00	<b>53,85</b>	0,00	15,38	100,00
<b>mangrove</b>	0,00	0,00	7,14	14,29	0,00	<b>78,57</b>	0,00	100,00
<b>eau</b>	6,67	0,00	6,67	0,00	0,00	0,00	<b>86,67</b>	100,00
<b>TOTAL</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>100,00</b>

Tableau 4.3 : Matrice de confusion de la cartographie d'occupation des sols des Petites Antilles.

Les confusions entre végétation forestière et végétation non-forestière s'expliquent principalement par la similarité des réponses spectrales, notamment dans le nord des Petites Antilles où les formations ligneuses sont assez basses et donc proches des formations herbacées à arbustives. L'erreur se manifeste ici par une sur-évaluation de la forêt.

La végétation forestière est également surévaluée au détriment des zones d'agriculture. C'est particulièrement le cas pour les zones cultivées de montagne dans les îles volcaniques. Les formes d'occupation des sols y sont très mélangées et l'agriculture constitue souvent un mitage assez fin en zone forestière. La résolution spatiale du capteur SPOT 5 trouve ici ses limites.

Enfin, les dernières erreurs notables correspondent aux confusions entre végétation non-forestière et zones d'agriculture, liées aux surfaces de pâturage ou aux champs ayant un état végétatif proche des formations herbacées. Il s'agit là d'une confusion dont il est difficile de s'affranchir et qui est lié à la nature même de la nomenclature choisie.

*Note : Les données vecteur de validation (fichiers \*.kml et \*.shp) sont stockées dans le dossier :  
/CARIBSAT-CHEULA/données\_validation*

## 5. CONCLUSION

L'objectif de cette cartographie était de fournir une donnée d'occupation des sols généraliste à l'échelle régionale. Elle devait ainsi apporter une donnée homogène qui permette de comparer les résultats obtenus d'une île à une autre ou suivant une évolution dans le temps. Pour que la donnée soit homogène, la nomenclature devait être adaptée à l'ensemble régional insulaire des Petites Antilles d'une part ; elle devait être issue de traitements de télédétection automatisés et reproductibles d'autre part.

Le travail cartographique effectué s'est donc attaché à définir un référentiel cartographique fiable et à mettre en place une chaîne de traitement semi-automatisée présentant des résultats satisfaisants.

Il en ressort une carte d'occupation des sols comportant sept classes et couvrant plus de 85 % de la surface émergée des Petites Antilles. Les traitements retenus présentent une précision globale de 73.85 %. Ils sont reproductibles à condition de sélectionner des zones d'apprentissage avant chaque classification.

Le résultat est donc relativement satisfaisant compte-tenu du cahier des charges de départ. Une méthode de classification orientée objet a été mise en œuvre sur une partie de la zone d'étude. Elle présente une précision globale d'environ 82 % (Révillion 2012). L'amélioration apportée est donc notable, mais elle se fait au détriment de la rapidité et de la reproductibilité des traitements.

Finalement, l'ensemble de la méthodologie proposée a pour vocation l'observation de l'environnement à l'échelle régionale. Elle a aussi pour vocation d'être reproduite de manière à étudier les dynamiques spatiales des activités humaines et des milieux naturels dans les îles des Petites Antilles.

## 6. COMMUNICATION

### Colloque :

**Cheula A., Gros-Désormeaux J-R -2010-** SIG des Petites Antilles - Plateforme régionale d'observation de l'environnement, Colloque La géomatique à l'IRD, 18-19 octobre 2010, Bondy

**Cheula A., Gros-Désormeaux J-R -2010-** Land Use/Land Cover in the Lesser Antilles Islands: Semantic and Methodological Approaches, 5th Caribbean GIS Conference, December 6-10, Port-of-Spain, Trinidad

**Cheula A. , Réchal D. , Gros-Désormeaux J-R. - 2012** - Land use / land cover in Lesser Antilles Islands: an example of regional approach for environment monitoring using remote sensing data – Conference ISISA 2012 – BVI – May 2012

**C. Depraetere, Gros-Désormeaux J-R. , A. Cheula, D. Réchal - 2012** - Contributions of high resolution remote sensing images to small islands assessment in the Lesser Antilles: a scientific asset for potential biodiversity estimates at regional scale – Conference ISISA 2012 – BVI – May 2012  
BALWOIS 2012 - Ohrid, Republic of Macedonia - 28 May, 2 June 2012 10

**Révillion C. , Cheula A. , Réchal D. - 2012** - Comparison of two methods for extracting land cover remote sensing in highly fragmented island. The case of Martinique – Conference ISISA 2012 – BVI – May 2012

### Poster :

Caribsat, Action 1, *POSTER FETE DE LA SCIENCE*, Novembre 2010

## 7. BIBLIOGRAPHIE

Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach J.T., and Witmer R.E., 1976, *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*, U.S. Geological Survey Professional Paper 964, 28 p.

Areces-Mallea, A.E. et ali, 1999, *A Guide to Caribbean Vegetation Types*, Edited by Nicole Panagopoulos, 155 p.

Bishop C.M, 1995, Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press, 504 p.

Bontemps, S., Defourny, P., Van Bogaert, E., 2010, GLOBCOVER 2009 – *Products description manual*, 19 p.

Bouckaert R.R, 2010, WEKA Manual for Version 3-6-4, University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 327 p. <http://ignum.dl.sourceforge.net/project/weka/documentation/3.6.x/WekaManual-3-6-4.pdf>

Brooks T, Smith M.L, 2001, Caribbean Catastrophes, *Science*, Vol. 294, pp.1469-1471

Canty M.J., Nielsen A. A., Schmid M.I, 2004, Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery, *Remote Sensing of Environment*, Volume 91, Issues 3-4, pp. 441-451

Canty M.J., 2009, "Boosting a fast neural network for supervised landcover classification", *Computers & Geosciences*, n°35, pp. 1280-1295

Cheula A., 2011, *Proposal for a classification scheme for mapping land use / land cover in Lesser Antilles Islands*, Document de travail, CARIBSAT, 7p.

Cortes C. and Vapnik V., 1995, Support-vector network, *Machine Learning*, vol. 20, pp. 273-297

Diffenbaugh N. S, 2009, Influence of modern land cover on the climate of the United States, *Clim. Dyn.*, 33, pp. 945–958, [http://www.stanford.edu/~omramom/Diffenbaugh\\_CDy\\_09.pdf](http://www.stanford.edu/~omramom/Diffenbaugh_CDy_09.pdf)

Di Gregorio, A., Jansen, L., 2000, Land cover classification system, classification concepts and user manual, Food and Agriculture Organisation of the United Nations: Rome, 190 p.

El Hajj M et al., 2008, Relative Radiometric Normalization and Atmospheric, *Sensors*, 8, pp. 2774-2791, <http://www.mdpi.org/sensors/papers/s8042774.pdf>

Foley J.A. et al., 2005, Global consequences of land-use, *Science* Vol. 309, pp. 570-574

Friedl, M.A., Sulla-Menashe, D., Tan, B., Schneider, et al., 2010, MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets, *Remote Sensing of Environment* 114 (2010) 168–182

Fritz, S. et al., 2003, *Harmonization, mosaicing and production of the Global Land Cover 2000 database* (Beta Version), 41 p.

Graveson, R., 2009, *The Classification of the Vegetation of Saint Lucia*. Technical Report No. 3 to the National Forest Demarcation and Bio-Physical Resource Inventory Project, FCG International Ltd, Helsinki, Finland, 109 p.

Haines-Young R, 2009, Land use and biodiversity relationships, *Land Use Policy*, n°26S, pp. S178–S186

Hansen, M. C., Defries, R. S., Townshend, J. R. G., Sohlberg R., 2000, Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach, *int. j. remote sensing*, 2000, vol. 21, no. 6 & 7, pp. 1331–1364

Hansen, M. C., Reed, B., 2000, A comparison of the IGBP DISCover and University of Maryland 1 km global land cover products, *int. j. remote sensing*, vol. 21, no. 6 & 7, pp. 1365–1373

Helmer, E.H. et ali, 2008, Land Cover and Forest Formation Distributions for St. Kitts, Nevis, St. Eustatius, Grenada and Barbados from Decision Tree Classification of Cloud-Cleared Satellite Imagery, *Caribbean Journal of Science*, Vol. 44, No. 2, pp. 175-198

Houghton R. A, Hackler J. L, 2001, *Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes: 1850 to 1990*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, U.S. Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A, 74 p. <http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp050/ndp050.pdf>

ISCGM, 2011, Global Map Specifications Version 2.1, report, 111 p.

Kalyanapu A.J, Burian S.J, McPherson T.N, 2009, Effect of land use-based surface roughness on hydrologic model output, *Journal of Spatial Hydrology*, Vol.9, pp. 51-71

Kennaway, T. A., Helmer, E.H., Lefsky M.A. et al., 2008, Mapping land cover and estimating forest structure using satellite imagery and coarse resolution lidar in the Virgin Islands, *Journal of applied remote sensing*, Vol.2.

Loveland T. R., & Belward, A. S., 1997, The IGBP-DIS global 1 km land cover data set, DISCover: First results, *International Journal of Remote Sensing*, 18, pp. 3291–3295.

Mahmood R, Pielke Sr. RA, Hubbard KG *et al.*, 2010, Impacts of land use/land cover change on climate and future research priorities, *Bull. of American meteorological society*, 91, pp.37-46

Meygret A., 2006, SPOT absolute calibration : Synthesis, Système pour l'observation de la Terre, CNES, 29 p.

Moreau Y., 2011, Mise en place d'un module de recalage automatique pour des images SPOT, Rapport d'activité, Action 1, CARIBSAT, Montpellier

[http://caribsat.teledetection.fr/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_details&gid=86&lang=fr](http://caribsat.teledetection.fr/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=86&lang=fr)

Myers N, Mittermeier R, Mittermeier C, Da Fonseca G, Kent J, 2000, Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature*, Vol. 403, 6 p.

Nunes A.N, de Almeida A.C, Coelho C, 2011, Impacts of land use and cover type on runoff and soil erosion in a marginal area of Portugal, *Applied Geography*, vol. 31, pp. 687-699

Pielke Sr. RA, 2005, Land Use and Climate Change, *Science* Vol. 310, pp. 1625-1626

Pitman AJ, Narisma GT, Pielke Sr. RA and Holbrook NJ, 2004, Impact of land cover change on the climate of southwest Western Australia, *Journal of Geophysical Research* Vol. 109, D18109

Quilan JR, 1993, *C4.5: programs for machine learning*, Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA

Ramsewak, D., 2007, The Integration of Remote Sensing and GIS Technologies for the Development of a Land Use/Cover Map of the Island of Tobago, Master's Thesis, University of the West Indies, 211 p.

Réchal D. - 2010 – Production d'une mosaïque ortho-rectifiée des Petites Antilles, IRD, Projet CARIBSAT, 35 p.

Révillion C., 2012, *Méthodologie pour la classification orientée-objet de l'occupation du sol des petites Antilles*, Rapport d'activité, CARIBSAT, Fort-de-France, 11 p.

[http://caribsat.teledetection.fr/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_details&gid=299&lang=fr](http://caribsat.teledetection.fr/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=299&lang=fr)

Soto Viruet, Y., 1999, Land Use/Land Cover of two bioluminescent bays in Puerto Rico, report, 26 p.

Trisurat Y, Rob Alkemade R, Verburg PH, 2010, Projecting Land-Use Change and Its Consequences for Biodiversity in Northern Thailand, *Environmental Management*, Vol. 45, pp. 626–639

## 8. SIGLES ET ACRONYMES

COM : Collectivités d'Outre-Mer

DROM : Départements ou Régions d'Outre-Mer

IGBP : International Geosphere-Biosphere Programme

IGN : Institut Géographique National

ISCGM : [\*International Steering Committee for Global Mapping\*](#)

GDEM ASTER : Global Digital Elevation Model Aster

GLC2000 : Global Land Cover 2000

GLCF : Global Land Cover Facility

LCCS : Land Cover Classification System

MAD : Multivariate Alteration Detection

MIR : Moyen Infra-Rouge

MNT : Modèle Numérique de Terrain

PIR : Proche Infra-Rouge

PTOM : Pays et Territoire d'Outre-Mer

SEAS : Surveillance de l'Environnement Amazonien assistée par Satellite

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

TOA : Top of Atmosphere

TOC : Top of Canopy

UMD : University of Maryland

UWI : University of West-Indies

## ANNEXE 1 : Références des images mises en production par la station SEAS - Guyane

Tableau A1 : Référence des images SPOT 5 utilisées pour la cartographie d'occupation des sols

K/J	Date	Shift	site
665/315	2009-09-24	0	Barbuda
666/315	2009-09-25	0	Barbuda
666/316	2009-01-23	0	Antigua
666/316	2009-09-25	0	Antigua
664/316	2009-10-25	0	Antigua
663/315	2009-10-31	6	St-Kitt's-Nevis-saba
664/315	2009-11-15	3	St-Kitt's-Nevis-saba
664/315	2010-01-11	3	St-Kitt's-Nevis-saba
663/315	2010-01-26	0	St-Kitt's-Nevis-saba
666/316	2008-05-07	3	Montserrat
665/316	2009-09-24	3	Montserrat
663/315	2008-04-22	0	St-Kitt's-Nevis-saba
662/315	2009-08-019	0	St-Kitt's-Nevis-saba
662/313	2008-02-09	3	St-Kitt's-Nevis-saba
663/314	2008-04-22	0	Aguilla-St-Marteen-St-Barth
663/314	2010-01-26	0	Aguilla-St-Marteen-St-Barth
660/313	2008-03-05	1	BVI
659/313	2008-07-14	1	BVI
659/313	2008-07-19	1	BVI
659/313	2010-05-06	0	BVI
660/313	2010-05-21	0	BVI
660/313	2010-07-11	0	BVI
660/313	2010-08-06	1	BVI
659/313	2011-02-04	0	BVI
658/313	2008-10-04	2	Vieques
658/314	2009-12-15	0	Vieques
658/313	2010-01-05	3	Vieques
657/313	2010-01-27	3	Vieques
659/315	2008-05-08	-3	Ste croix
659/315	2008-12-28	-3	Ste croix
659/314	2011-02-04	1	Ste croix
667/317	2008-02-15	5	Guada
668/318	2008-05-23	0	Guada
667/317	2008-07-04	3	Guada
667/318	2008-07-04	0	Guada
667/318	2008-07-19	0	Guada
666/317	2009-09-25	5	Guada
667/317	2010-02-22	1	Guada
667/317	2010-03-04	5	Guada
667/318	2010-03-04	0	Guada
667/318	2010-03-10	0	Guada
668/319	2008-04-22	3	dominica
668/319	2008-05-23	3	dominica
667/319	2008-08-15	0	dominica

667/319	2009-09-30	0	dominica
667/319	2010-01-16	4 (ou 1)	dominica
668/319	2010-03-10	3	dominica
667/319	2010-04-04	5 (ou 2)	dominica
669/321	2011-02-01	-4	Martinique
669/321	2010-03-26	-4	Martinique
669/321	2010-11-09	-4	Martinique
669/321	2010-12-26	-4	Martinique
669/321	2011-02-01	-4	Martinique
669/321	2011-02-21	-4	Martinique
669/322	2008-12-07	1	Ste Lucie
669/322	2009-01-12	1	Ste Lucie
669/324	2008-02-09	5	St-vincent
669/323	2008-05-23	5	St-vincent
669/324	2008-05-23	1	St-vincent
669/323	2009-08-14	5	St-vincent
669/324	2009-08-14	1	St-vincent
669/323	2010-02-22	5	St-vincent
669/325	2008-02-09	0	Grenadines
669/325	2008-03-01	1	Grenadines
669/325	2009-08-29	1	Grenadines
669/325	2010-02-22	5	Grenadines
669/326	2009-11-11	0	Grenade
668/325	2010-01-11	5	Grenade
669/326	2010-02-22	0	Grenade
668/326	2010-05-22	0	Grenade
672/323	2008-04-28	5	Barbade
672/323	2008-06-29	3	Barbade
672/323	2008-10-06	3	Barbade
672/323	2011-02-21	5	Barbade
672/324	2011-02-11	0	Barbade
671/327	2008-10-16	4	Tobago
671/327	2010-06-12	4	Tobago
670/328	2008-02-15	5	Trinidad
670/329	2008-02-15	5	Trinidad
671/329	2008-05-08	1	Trinidad
669/329	2008-05-29	5	Trinidad
669/329	2008-10-27	0	Trinidad
670/329	2011-01-26	4	Trinidad
370/330	2011-01-26	0	Trinidad

**Tableau A2 : Référence des images SPOT 4 et SPOT 5 complémentaires utilisées pour l'orthorectification**

Capteur	K/J	Date	Shift	site
SPOT 4	658/314	2006-09-18	0	Vieques
SPOT 5	659/313	2006-04-19	0	BVI
SPOT 5	660/313	2006-09-17	0	BVI
SPOT 4	659/313	2006-11-10	0	BVI

SPOT 5	660/314	2006-09-17	3	Ste Croix
SPOT 4	660/314	2006-05-02	3	Ste Croix
SPOT 4	659/314	2006-11-10	3	Ste Croix
SPOT 5	663/313	2006-05-15	6	St Martin
SPOT 5	662/313	2006-09-13	4	St Martin
SPOT 5	664/314	2006-10-18	3	St Martin
SPOT 4	663/314	2006-04-11	0	St Martin
SPOT 5	664/316	2006-08-27	0	St Kitts
SPOT 5	663/315	2006-09-08	0	St Kitts
SPOT 4	663/315	2006-04-11	0	St Kitts
SPOT 5	665/314	2006-04-26	2	Barbuda
SPOT 5	666/315	2006-07-12	0	Barbuda
SPOT 5	665/314	2006-08-08	6	Barbuda
SPOT 5	666/316	2006-12-20	0	Antigua
SPOT 5	665/316	2006-08-18	4	Montserrat
SPOT 4	665/316	2006-11-25	4	Montserrat
SPOT 5	668/318	2005-12-27	0	Guada
SPOT 5	667/317	2006-07-23	3	Guada
SPOT 5	667/317	2006-07-23	6	Guada
SPOT 5	667/317	2006-08-02	6	Guada
SPOT 5	667/317	2006-08-07	6	Guada
SPOT 5	667/317	2006-08-12	6	Guada
SPOT 5	667/317	2006-08-28	6	Guada
SPOT 5	668/319	2006-04-20	3	Dominica
SPOT 5	667/319	2006-05-31	5	Dominica
SPOT 5	667/318	2006-06-26	6	Dominica
SPOT 5	668/319	2006-10-20	3	Dominica
SPOT 5	669/322	2005-12-22	3	Ste Lucie
SPOT 5	669/322	2006-07-23	5	Ste Lucie
SPOT 5	669/323	2006-04-21	4	St Vincent
SPOT 5	669/323	2006-07-23	5	St Vincent
SPOT 5	669/324	2006-10-04	0	St Vincent
SPOT 5	669/323	2006-11-14	4	St Vincent
SPOT 5	669/323	2006-11-25	4	St Vincent
SPOT 5	669/324	2006-06-11	1	Grenadines
SPOT 5	669/324	2006-07-23	4	Grenadines
SPOT 5	669/324	2006-11-14	4	Grenadines
SPOT 5	669/324	2006-11-25	4	Grenadines
SPOT 5	669/325	2006-07-03	2	Grenadines
SPOT 5	669/325	2006-10-04	2	Grenadines
SPOT 5	669/325	2006-11-14	2	Grenadines
SPOT 5	668/325	2006-05-26	5	Grenade
SPOT 5	668/325	2006-10-24	3	Grenade
SPOT 5	669/326	2006-11-14	0	Grenade
SPOT 5	669/326	2006-11-25	0	Grenade
SPOT 5	672/324	2005-12-17	0	Barbade
SPOT 5	672/323	2006-09-14	4	Barbade
SPOT 5	672/323	2006-10-15	5	Barbade
SPOT 5	672/323	2006-11-10	5	Barbade
SPOT 5	671/327	2006-05-06	1	Tobago

SPOT 5	671/327	2006-06-07	6	Tobago
SPOT 5	671/327	2006-09-24	1	Tobago
SPOT 5	671/327	2006-09-28	5	Tobago
SPOT 4	670/330	2006-02-08	0	Trinidad
SPOT 4	670/330	2006-05-29	0	Trinidad
SPOT 4	671/330	2006-11-01	0	Trinidad
SPOT 5	669/329	2006-03-05	5	Trinidad
SPOT 5	671/328	2006-04-16	6	Trinidad
SPOT 5	671/329	2006-04-16	5	Trinidad
SPOT 5	669/329	2006-04-21	0	Trinidad
SPOT 5	670/328	2006-04-30	6	Trinidad
SPOT 5	669/330	2006-06-01	0	Trinidad
SPOT 5	669/329	2006-11-15	6	Trinidad
SPOT 5	670/328	2006-11-20	1	Trinidad

## ANNEXE 2 : Code des routines IDL

a. Correction radiométrique :

```

pro correc ; A. CHEULA

envi, /restore_base_save_files
envi_batch_init

envi_select, title='Entrez image à corriger', fid=fid1, pos=position,
dims=dims
envi_file_query, fid1, NB=NB, NL=NL, ns=ns, data_type=data_type
mapinfo = envi_get_map_info(fid = fid1)
print, mapinfo
image = envi2idl(fid1, position)
dim = size(image, /dimension)

envi_select, title='entrez raster de pente', fid=fid1, pos=pos, dims=dims
envi_file_query, fid1, NB=NB, NL=NL, ns=ns, data_type=data_type
slope = envi2idl(fid1, pos)

envi_select, title='entrez raster azimuth de pente', fid=fid1, pos=pos,
dims=dims
envi_file_query, fid1, NB=NB, NL=NL, ns=ns, data_type=data_type
aspect = envi2idl(fid1, pos)
help, aspect
print, 'echantillon aspect', aspect [2205:2208, 2205:2208]
dimap = pickfile()
meta = rd_tfile(dimap)

posSA = where(strmid(meta,0,13) EQ "<SUN_AZIMUTH>", count)
posSE = where(strmid(meta,0,15) EQ "<SUN_ELEVATION>", count)
posUD = where(strmid(meta,0,9) EQ "<UT_DATE>", count)
posPG = where(strmid(meta,0,15) EQ "<PHYSICAL_GAIN>", count)

HRG = where(strmid(meta,0,53) EQ '<SOURCE_DESCRIPTION>SCENE HRG2
J</SOURCE_DESCRIPTION>', count)
if count eq 0 then begin
    EKmoy = [1859.8, 1575.3, 1043.9, 238.87]; solar irradiance moyenne
(données CNES) HRG1
endif else begin
    EKmoy = [1859.8, 1577.6, 1048.2, 237.78]; solar irradiance moyenne
(données CNES) HRG2
endelse

SA = double(strmid(meta[posSA],13, strpos(strmid(meta[posSA],13), '<')))
SE = double(strmid(meta[posSE],15, strpos(strmid(meta[posSE],15), '<')))
PG = double(strmid(meta[posPG],15, strpos(strmid(meta[posPG],15), '<')))
UD = long(strmid(meta[posUD],9, strpos(strmid(meta[posUD],9), ' ')))

print, 'SA =', SA[0]
print, 'SE =', SE[0]
print, 'UD =', UD
print, 'PG = ', PG

```

```

SA = SA[0]
SE = SE[0]

AKGMK = transpose(PG[0,*]) ; physical_gain (metadata)
t = UD[0] ; jour julien d'acquisition (metadata) - voir
http://www.aviso.oceanobs.com/fr/donnees/boite-a-outils/jours-calendaires-
ou-jours-juliens/index.html
to = 2
e = 0.01673 ; excentricité de l'orbit (modèle CNES)
n = 0.0172 ; angle moyen de rotation /jour (moyenne CNES)
ut = 1/((1-e*cos(n*(t-to)))*(1-e*cos(n*(t-to)))) ; (deg)
print, 'ut = ', ut
tetas = (!PI*(90-SE))/180 ; 90-SUN_elevation en radian (metadata)
tetan = fltarr(ns,nl)
tetan = (!PI*slope)/180 ; pente de la pente en radian
fis = (!PI*SA)/180 ; sun_azimuth en radian (metadata)
fin = fltarr(ns,nl)
fin = (!PI*aspect)/180 ; orientation de pente en radian
print, 'cos tetas', cos(tetas)
print, 'cos fis', cos(fis)
print, 'min-max cos tetan', min(cos(tetan)), max(cos(tetan))
print, 'min-max sin tetan', min(sin(tetan)), max(sin(tetan))
print, 'min-max cos tetan', min(cos(fin)), max(cos(fin))
print, 'min-max sin fin', min(sin(fin)), max(sin(fin))

betaa = fltarr(ns,nl)
betaa = cos(tetas)*cos(tetan)+sin(tetas)*sin(tetan)*cos(fis-fin)
print, 'min-max cos betaaa', min(betaaa), max(betaaa)
result=fltarr(ns,nl,dim[2])

for i=0, dim[2]-1 do begin

    result[*,*,i] = !pi*image[*,*,i] / (AKGMK[i]*EKmoy[i]*ut*betaaa)
    print, 'denom =', AKGMK[i]*EKmoy[i]*ut
    print, '#####'
    print, 'min, max, denom', min((AKGMK[i]*EKmoy[i]*ut*betaaa)),
max((AKGMK[i]*EKmoy[i]*ut*betaaa))
endfor

envi_write_envi_file, result, out_name='C:\Documents and Settings\All
Users\Desktop\correcl', r_fid=fid, map_info = mapinfo

end

pro selecteur_images_dn_to_reflectance ; D. RECHAL

COMPILE_OPT strictarr
COMPILE_OPT IDL2

rep = dialog_pickfile(title='Repertoire des images',/directory)

if rep[0] EQ "" then begin
    res=dialog_message("Aucun repertoire selectionne",/information)
    RETURN
endif

dossiers = file_search(rep+"\*",/TEST_DIRECTORY,count=n)

```

```

if n EQ 0 then begin
  res=dialog_message("Aucun dossiers dans le repertoire
selectionne",/information)
  RETURN
endif
;  print,n
;  print,dossiers
;  n = n_elements(files)
;  print,"nombre d'image = ",string(n)
mandatory = ["IMAGERY.TIF","METADATA.DIM"]

for i = 0L, n-1 do begin

  id = 0b

  for iman = 0,1 do begin
    chek = file_search(dossiers[i]+"\\"+mandatory[iman],count=c)
    if c eq 0 then begin
      print,"Le repertoire "+dossiers[i]+" ne contient pas
"+mandatory[iman]+"!"
      id = 1b
      break
    endif
  endfor

  if id eq 1b then CONTINUE

  file = dossiers[i]+"\IMAGERY.TIF"

  DN_to_reflectance,file

endfor

end

function str2arr_DN_to_R,str,delim,sep=sep,i1=i1,i4=i4,r4=r4,r8=r8,$
  squish=squish,array=array,delimit=delimit,nomult=nomult,$
  _extra=e

ns=n_elements(str)
if ns eq 0 then begin
  print,'Usage: arr=str2arr(str,delim,sep=sep,/I1,/I4,/R4,/R8,/squish,$'
  print,'           array=array,delimit=delimit,/nomult)'
  print,'   convert string to array'
  return,0
endif

; SEP, DELIM, or DELIMIT?
if keyword_set(delimit) then sp=delimit(0)
if keyword_set(delim) then sp=delim(0) else $
  if keyword_set(sep) then sp=sep(0)

; check input
ss='' & for i=0,ns-1 do ss=ss+string(str(i))

; separate the output
szsep=size(sp) & nszsep=n_elements(szsep)
bss=byte(ss) & nbs=n_elements(bss)
if szsep(nszsep-2) eq 7 then begin      ; (separator is a string
  bsep=(byte(sp(0)))(0)

```

```

seplen=strlen(sp)
endif else begin ;SP is string) (not string
  bsep=(byte( ',' ))(0)
  os=where(bss eq bsep,mos)
  if mos eq 0 then bsep=(byte(' '))(0) ;," didn't work, try "<sp>""
  seplen=1
endelse ;SP is ignored)

if seplen gt 1 then begin ;(slow version, goes thru STR_SEP
  array=str_sep(ss,sp(0))
endif else begin ;)(faster?
  os=where(bss eq bsep,mos)
  if mos eq 0 then os=nbs ;all one string
  array=strarr(mos+1L)
  if os(0) gt 0 then array(0)=string(bss(0:os(0)-1L))
  for i=1L,mos-1L do $
    if os(i-1)+1L le os(i)-1L then array(i)=string(bss(os(i-1)+1L:os(i)-1L))
    if mos gt 0 then begin
      if os(mos-1)+1L le nbs-1L then array(mos)=string(bss(os(mos-1)+1L: *))
    endif
endelse ;SEPLEN)

; how many elements in output?
narr=n_elements(array)

; what type is output?
arr=strarr(narr) & I2=0
if keyword_set(R8) then arr=dblarr(narr) else $
if keyword_set(R4) then arr=fltarr(narr) else $
if keyword_set(I4) then arr=lonarr(narr) else $
if keyword_set(I1) then arr=bytarr(narr) else $
  if not keyword_set(delim) and not keyword_set(delimit) then begin
    I2=1 & szarr=syze(array) & nszarr=n_elements(szarr)
    if szarr(nszarr-2L) gt 5 or szarr(nszarr-2L) lt 0 then I2=0
    if keyword_set(I2) then arr=intarr(narr)
  endif

; "squish" if asked
if keyword_set(nomult) or keyword_set(squish) then begin
  oo=where(array ne ',',moo)
  if moo eq 0 then return, arr(0)
  array=array(oo) & arr=arr(oo) & narr=moo
endif else begin
  oo=where(array eq ',',moo)
  if moo gt 0 then array(oo)='0'
endelse

; extract output array
for i=0L,narr-1L do $
  if keyword_set(R8) then arr(i)=double(array(i)) else $
  if keyword_set(R4) then arr(i)=float(array(i)) else $
  if keyword_set(I4) then arr(i)=long(array(i)) else $
    if keyword_set(I1) then arr(i)=(byte(fix(array(i))))(0) else $
    if keyword_set(I2) then arr(i)=fix(array(i)) else $
      arr(i)=array(i)

return, arr

end

```



```

        text=[temporary(text),string(lastline)]
endif
endelse
end else begin
    text = ''
end
free_lun,lun
endif else begin
    ;message,/info,'VMS Temp Fix, may be slow...'
    ;spawn,'type/nopage ' + filename,text
    text=rd_ascii(filename)
endelse

; -----
; ----- optional non-numeric header skip function -----
; header has non-numeric (0,1,...9 or decimal point) first character
header=keyword_set(header) or (skip eq -1)
if numeric then begin ; auto-skip non-numerical header
    ttext=strmid(strtrim(text,1),0,1) ; first non-blank character
    firstbyte=byte(ttext)
; slf 21-may-94 add negative (-) to valid numeric first character
    special=where(firstbyte eq 46b or firstbyte eq 45b,dcnt)
    if dcnt gt 0 then firstbyte(special)=48b ; force in range
    numerics=where(firstbyte ge 48b and firstbyte le 57b,ncnt)
    if ncnt eq 0 then skip=0 else skip=numerics(0)
endif

header=''
if skip ge n_elements(text) then begin
    message,/info,'Skip lines greater than file lines!'
    header=text
    text=''
endif else begin
    if skip gt 0 then header = text(0:skip-1)
    text=text(skip:*)
endelse
;

if numeric then if ncnt gt 0 then text=text(numerics-skip)

; ----- optional compression and whitespace elimination -----
;
; eliminate excess whitespace, leading and trailing blanks, null lines
; unless otherwise indicated (ie, nocomp is set)
if compress then begin
    text=strtrim(strcompress(text),2)
    nonnulls = where(text ne '',nncount)
    if nncount eq 0 then begin
        message,/info,'Null file! (' + filename + ')'
        return,data
    endif else text=textnonnulls)
endif
;

;
; ----- optional comment elimination -----
;

;
; ('wordy' to handle partial comment lines and retension of existing null
lines)
;

```

```

gtext=text           ; 'good' text
if keyword_set(nocomment) then begin      ; remove comment lines
  scomment=size(nocomment)
  comtype=scomment(n_elements(scomment)-2)
; allow user-supplied delimiter or use default if nocomment use as switch
case comtype of
  7:    comchar=nocomment      ; user supplied comment char
  else: case strupcase(!version.os) of
    'VMS': comchar='!'        ; assume VMS command file
    else: comchar='#'        ; assume unix script
  endcase
endcase
  compos=strpos(gtext,comchar)
  if (keyword_set(first_char_comm)) then wherecom=where(compos eq 0,
ccount) $
  else wherecom=where(compos + 1, ccount)
;   wherecom=where(compos + 1, ccount)
;   for each line containing a comment character
  for j=0L,ccount-1 do begin
    gtext(wherecom(j)) = $
    strmid(gtext(wherecom(j)),0,compos(wherecom(j)))
  endfor
;
;   dont delete
  if ccount gt 0 then begin
    newnulls=where(gtext(wherecom) eq '',nncount)
    if nncount gt 0 then begin
      delpat='rd_tfile_delete'
      gtext(wherecom(newnulls)) = delpat      ; mark for deletion
      keep = where(gtext ne delpat,kcount)
      if kcount gt 0 then gtext=gtext(keep) else begin
        message,/info,'Nothing left after removing comment lines!'
      return,data
    endelse
    endif
  endif
endif
;
-----  

---  

;
; ----- auto column determination function -----
-
if autocol then begin      ; determine number columns from 1st
  testcol=str2arr_DN_to_R(gtext(0),delim)
  ncols=n_elements(testcol)
endif
;
-----  

--  

; ----- matrix formation (table data) -----
--  

; fill in matrix if ncols gt 1
if ncols eq 1 then data=gtext else begin
  data=strarr(ncols,n_elements(gtext))
  for i=0L,n_elements(gtext)-1 do begin
    array = str2arr_DN_to_R(gtext(i),delim)
    array = array(0:min([ncols-1,n_elements(array)-1]) )
    data(0,i) = array
  endfor
endelse
!quiet=qtemp

```

```

;
if compress then data=strupcase(data,2) ; clean up substrings
;
; ----- optional numeric data type conversion -----
-
; slf, 11-feb-1993
; add data type conversion code for convenience - assume user knows what
; shes doing. Of course, user can do this outside of this routine:
; for example, data=fix(rd_tfile(file,/auto))

if convert then begin      ; auto convert
  data=strupcase(data)
  bdata=byte(data)        ; always ok
; are these floating numbers?
  decimal=where(bdata eq 46b,dcnt)
  eexp=where(bdata eq 69b,ecnt)
  on-ioerror,cnverror
  if (dcnt or ecnt) gt 0 then data=float(data) else begin
    data=long(data)
    case 1 of
;      max(data) lt 256:   data=byte(data)    ; do we want this?
;      max(data) lt 327681: data=fix(data)    ; fix it
    else:                 ; leave it long
      endcase
    endelse
  endif
;
;-----
---  

; normal completion, return the data
;
return, data
;
;
; i/o and type conversion errors
openerror:
message,/info,'No file: ' + filename
!quiet=qtemp
return,data
readerror:
free_lun,lun
message,/info,'Error reading file: ' + filename
!quiet=qtemp
return,data
cnverror:
free_lun,lun
message,/info,'Error converting text to numeric data in file: ' + filename
!quiet=qtemp
return,data

end
///////////
///////////
pro DN_to_reflectance,file
COMPILE_OPT strictarr
COMPILE_OPT IDL2
ENVI, /RESTORE_BASE_SAVE_FILES
ENVI_BATCH_INIT

```

```

;Selection de l'image
;    file = dialog_pickfile(title='Image')
;    if file[0] EQ '' then RETURN
;
;    ;Ouverture de l'image
;    envi_open_file,file,r_fid=fid_in
;    if (fid_in eq -1) then RETURN

envi_file_query,fid_in,ns=ns,nl=nl,nb=nb,dims=dims,servername=servername,data_type=da
ta_type,interleave=interleave,bnames=bnames
    pos = lindgen(nb)
    map_info = envi_get_map_info(fid=fid_in)

;Recherche du fichier METADATA.DIM
    rm = strlen(sname) & lf = strlen(file)
    meta_file = strmid(file,0,lf-rm)+'METADATA.DIM'
    res = file_search(meta_file,count=count)
    if count LT 1 then begin
        res = dialog_message("pas de fichier METADATA.DIM associe a
l'image....",/information)
        return
    endif
    meta = rd_tfile_DN_to_R(meta_file)

;Transformation en radiances
    searchPG = where(strmid(meta,0,15) EQ "<PHYSICAL_GAIN>", count)
    if count EQ 0 then begin
        res = dialog_message("PHYSICAL_GAIN non trouve!...", /information)
        RETURN
    endif
    if count NE nb then begin
        res = dialog_message("Nombre de PHYSICAL_GAIN different du nombre
de bandes!...", /information)
        RETURN
    endif
    PG = dblarr(nb)
    for i = 0L, nb-1 do PG[i] = double(strmid(meta[searchPG[i]],15,
strpos(strmid(meta[searchPG[i]],15), '<'))))
    out_radiances = strmid(file,0,(strlen(file)-
strlen(file_basename(file))))+strmid(sname,0,strpos(sname,"."))+'_radiances'
    openw,unit,out_radiances,/get_lun
    tile_id =
envi_init_tile(fid_in, pos, interleave=interleave, num_tiles=num_tiles, xs=dims
[1], xe=dims[2], ys=dims[3], ye=dims[4])
    for i = 0L, num_tiles-1 do begin
        data = envi_get_tile(tile_id,i,band_index=band_index)
        help,PG[band_index]
        data = temporary(data) / PG[band_index]
        help,data
        writeu,unit,data
        help,temporary(data)
    endfor
    free_lun,unit
    close,/all

envi_tile_done,tile_id

envi_setup_head, fname=out_radiances, bnames=bnames, ns=ns, nl=nl, nb=nb, data_type=5,
offset=0, interleave=0, map_info=map_info, descrip='valeurs en radiances', $
```

```

/write,/open

;Transformation en reflectance
;Ouverture de l'image de radiance
envi_open_file,out_radiance,r_fid=fid_rad

;passage en reflectance

;SUN ZENITHAL ANGLE (SZA)
searchels = where(strmid(meta,0,15) EQ "<SUN_ELEVATION>",count)
if count EQ 0 then begin
    res = dialog_message("ELS non trouvée...", /information)
    RETURN
endif
ELS =
double(strmid(meta[searchels],15,strpos(strmid(meta[searchels],15), '<')) )
SZA = 90 - ELS ;(en degré!!!)
SZA = (!pi * SZA) / 180.0D ;(en radian!!! la fonction COS
d'IDL prend des radians en argument!)

;NORMALIZED SOLAR IRRADIANCE (NSI)
;date
searchdate = where(strmid(meta,0,14) EQ "<IMAGING_DATE>",count)
if count EQ 0 then begin
    res = dialog_message("DATE non trouvée...", /information)
    RETURN
endif
date =
strmid(meta[searchdate],14,strpos(strmid(meta[searchdate],14), '<')) )
annee = fix(strmid(date,0,4))
mois = fix(strmid(date,5,2))
jour = fix(strmid(date,8,2))
;time
searchtime = where(strmid(meta,0,14) EQ "<IMAGING_TIME>",count)
if count EQ 0 then begin
    res = dialog_message("TIME non trouvée...", /information)
    RETURN
endif
time =
strmid(meta[searchtime],14,strpos(strmid(meta[searchtime],14), '<')) )
heure = fix(strmid(time,0,2))
minute = fix(strmid(time,3,2))
seconde = fix(strmid(time,6,2))

;JULIAN DAY (reference day = 01/01/1950 --> 2433282.5D
jul = julday(mois,jour,annee,heure,minute,seconde)
T = jul - 2433282.5D
;TO
TO = 2D
;ORBIT EXCENTRICITY
E = 0.01673D
;MEAN ROTATION ANGLE
N = 0.0172D ;(rad/day)

;instrument
searchinstrument = where(strmid(meta,0,12) EQ "<INSTRUMENT>",count)
if count EQ 0 then begin
    res = dialog_message("INSTRUMENT non trouvée...", /information)
    RETURN
endif

```

```

instrument =
strmid(meta[searchinstrument],12,strpos(strmid(meta[searchinstrument],12),'  
<')) )
; instrument index
searchinstrumentIndex = where(strmid(meta,0,18) EQ
"<INSTRUMENT_INDEX>",count)
if count EQ 0 then begin
    res = dialog_message("INSTRUMENT INDEX non trouve...",/information)
RETURN
endif
instrument_index =
strmid(meta[searchinstrumentIndex],18,strpos(strmid(meta[searchinstrumentIndex],18),'  
<')) )
INSTR = strcompress(instrument+instrument_index,/remove_all)

out_reflectance = strmid(file,0,(strlen(file)-
strlen(file_basename(file))))+strmid(sname,0,strpos(sname,"."))+'_reflectan
ce'
openw,unit2,out_reflectance,/get_lun
tile_id =
envi_init_tile(fid_rad, pos, interleave=interleave, num_tiles=num_tiles, xs=dims[1], xe=dims[2], ys=dims[3], ye=dims[4])
for j = 0L,num_tiles-1 do begin
    data2 = envi_get_tile(tile_id,j,band_index=band_index)
    print, 'test1'
    help,data2

CASE INSTR OF

    'HRG1' :BEGIN
        vals = [1859.8D,1575.3D,1043.9D,238.87D]
        NSI = vals[band_index] / (1 - E*COS(N*(T - TO)))^2
        data2 = temporary(data2) * (!pi / (NSI * COS(SZA)))
        writeu,unit2,data2
        help,temporary(data2)
    END

    'HRG2' :BEGIN
        print, 'test2'
        help,data2
        vals = [1859.8D,1577.6D,1048.2D,237.78D]
        NSI = vals[band_index] / (1 - E*COS(N*(T - TO)))^2
        print, 'NSI',NSI
        print, 'SZA',SZA
        a = ( double(!pi) / (double(NSI) * double(COS(SZA)) ) )
    )
        help,a[0]
        print,a[0]
        data2 = temporary(data2) * a[0]
        print, 'test3'
        help,data2
        ;print,data2
        writeu,unit2,data2
        help,temporary(data2)
    END

    ELSE :BEGIN
        res = dialog_message("Instrument non
connu...Impossible de passer en reflectance",/information)
        print,INSTR

```

```

        RETURN
        END

        ENDCASE

        endfor
free_lun,unit2
close,/all

envi_tile_done, tile_id

envi_setup_head, fname=out_reflectance, bnames=bnames, ns=ns, nl=nl, nb=nb, data_
type=5, offset=0, interleave=0, map_info=map_info, descrip='valeurs en
reflectance', $
        /write,/open
;Attention!!!!
; Si tu utilise FLASH pour passer en reflectance TOC
; Il faut la donnée de radiance
; la donnée de radiance doit etre en FLOAT
; la donnée de radiance doit etre en BIL ou en BIP
; la donnée de radiance doit etre en
microwatts/centimeter^2/steradian/nanometer ! or je l'ai en
watts/meter^2/steradian/micrometer
; donc il faut faire radiance /= (1e6 * 100^2 * 1e3)

```

End

### b. Détection des nuages et ombres de nuages

pro nuage ; A. CHEULA

```

ENVI, /RESTORE_BASE_SAVE_FILES
ENVI_BATCH_INIT, LOG_FILE = 'batch_log.txt'
envi_select, title='Enter green or red band of image', fid=fidgreen,
pos=position, dims=dims,/Band_only
envi_file_query, fidgreen, ns=ns, nl=nl, nb=nb, data_type=data_type,
Xstart=Xstart, Ystart=Ystart
mapinfo = envi_get_map_info(fid = fidgreen)
;convertit format idl
green = envi2idl(fidgreen, position)

green = float(green)
expo = fltarr(ns,nl)
expo = exp(green/100)

; Pad the image and get the new dimensions.
padexpo = REPLICATE(0B, ns+10, nl+10)
padexpo [5, 5] = expo
dims = SIZE(padexpo, /DIMENSIONS)

side = 3
structElem = DIST(side) LE side
open = MORPH_OPEN(padexpo, structElem, /GRAY)

histog1 = histogram(open)
histog2 = where(histog1 NE 0)
y = histog1[histog2]
x = where(y NE 0)
help, x
help, y

```

```

prim = deriv(x, y)
seuil = where(prim eq min(prim))
seuil = byte(seuil)
help, seuil
print, 'seuil = ', seuil

nuage = where(open LE seuil[0])
autre = where(open GT seuil[0])

result = bytarr(dims[0], dims[1])
result[nuage]=0
result[autre]=1

; fait une grosse erosion avec element structurant 9
side = 9
structElem = DIST(side) LE side
erosion = erode(result, structElem)

;labelise chaque région de l'image de départ et l'image érodée
origin = label_region(result)
eros = label_region(erosion)
mark = where(origin ne 0 and eros ne 0)

;cherche la valeur de la première region de 'origin' ayant des parties
communes
;avec eros
a = origin[mark[0]]

;cherche les valeurs de toutes les régions de 'origin' ayant des parties
communes avec 'eros'
histog = histogram(origin[mark])
b = where(histog ne 0)
c = b+a

new = intarr(dims[0], dims[1])

for k = 0, n_elements(c)-1 do begin
    new[where(origin eq c[k])] = 1
endfor

side = 3
structElem = DIST(side) LE side
dilat = dilate(new, structElem)
dilat[where(dilat eq 1)]=2
result = intarr(ns,nl)
result = dilat[5: dims[0]-6, 5: dims[1]-6]
;envi_write_envi_file, result, nl=nl, $
;ns=ns, out_name='C:\Documents and Settings\All Users\Desktop\nuage2',
r_fid=fid, map_info = mapinfo, Xstart=Xstart, Ystart=Ystart
;*****
*****envi_select, title='Enter nir or swir band of image', fid=fidpir,
pos=position, dims=dims,/Band_only
pir = envi2idl(fidpir, position)

;histogramme de l'image pir ou swir
histo = histogram(pir)
x = bindgen(n_elements(histo))

:derivée prime et seconde de l'histogramme

```

```

prim = deriv(x[1:n_elements(x)-1], histo[1:n_elements(histo)-1])
second = deriv(x[1:n_elements(x)-1], prim)

; choisit le minimum de la dérivée seconde et cherche le maximum après le
minimum (permet d'obtenir le deuxième pic
; de dérivée seconde.... cste = 15 pour bien redescendre sur la valeur de
fin de pic
mini = where(second eq min(second))
maxi = where(second eq max(second[mini:100]))+15

;stretching de l'image avec saturation des valeurs les plus faibles
pir = float(pir)
trn = fltarr(ns,nl)
trn = 255*(pir-maxi[0])/(255-maxi[0])
nul = where(trn lt 0)
trn[nul]=0

; Pad the image and get the new dimensions + fermeture morphologique
padtrn = REPLICATE(0B, ns+4, nl+4)
padtrn [2, 2] = trn
dims = SIZE(padtrn, /DIMENSIONS)

side = 3
structElem = DIST(side) LE side
close = MORPH_CLOSE(padtrn, structElem, /GRAY)

; histogramme de la fermeture
histo = histogram(close)
x = bindgen(n_elements(histo))

;derivée de l'histogramme
prim = deriv(x, histo)

;chosit comme seuil la première valeur de dérivée sup ou égale à 0
tresh = where(prim GE 0)
;print, tresh
seuil = tresh[0]
print, seuil

; binarisation de l'image avec seuil + constante pour bien prendre les
valeurs de fin de pic
ombre = where(close LE seuil+25)
autre = where(close GT seuil+25)

result1 = bytarr(dims[0], dims[1])
result1[ombre]=1
result1[autre]=0

result2 = bytarr(ns,nl)
result2 = result1[2: dims[0]-3, 2: dims[1]-3]

result3 = result+result2

envi_write_envi_file, result3, nl=nl, $
ns=ns, out_name='C:\Documents and Settings\All Users\Desktop\nuage2',
r_fid=fid, map_info = mapinfo, Xstart=Xstart, Ystart=Ystart
end

function envi2idl, fid, position

```

```

envi_file_query, fid, data_type = data_type, dims=dims, pos=position,
ns=nS, nl=nL, nb=nb
band=n_elements(position)
case data_type of
1 : image = bytarr(ns, nl, band)
2 : image = uintarr(ns, nl, band)
3 : image = lonarr(ns, nl, band)
4 : image = fltarr(ns, nl, band)
5 : image = dblarr(ns, nl, band)
endcase

FOR i=0, band-1 do begin
  image[*,*,i] = envi_get_data(fid= fid, dims= dims, pos=position[i])
endfor
return, image
end

```

### c. Automatisation des classifications

```

pro classification, file, rois ; D. Réchal
COMPILE_OPT strictarr
COMPILE_OPT IDL2
ENVI, /RESTORE_BASE_SAVE_FILES
ENVI_BATCH_INIT

;Ouverture de l'image //////////////////////

envi_open_file, file, r_fid=fid_in
if (fid_in eq -1) then RETURN

envi_file_query, fid_in, ns=ns, nl=nl, nb=nb, sname=sname, data_type=data_type, in
terleave=interleave, bnames=bnames
  pos = lindgen(nb)
  map_info = envi_get_map_info(fid=fid_in)

;Restore ROIS pour image fid_in //////////////////////

envi_restore_rois, rois
roi_ids = envi_get_roi_ids(fid=fid_in)

;Elements Generaux //////////////////////

nbr_rois = n_elements(roi_ids)
print, "nbr_rois", nbr_rois

lookup = bytarr(3, nbr_rois+1) & lookup[*,0] = [0,0,0]
class_names = strarr(nbr_rois+1) & class_names[0] = 'Unclassified'

envi_get_roi_information, roi_ids, roi_names=names, /short_name, roi_colors=col
ors
  class_names[1:*] = names & lookup[*,1:] = colors
;  print, class_names
;  print, lookup

file_type = ENVI_FILE_TYPE('ENVI CLASSIFICATION')

num_classes = nbr_rois+1

```

```

;output_name = strmid(file,0,(strlen(file)-
strlen(file_basename(file)))+strmid(sname,0,strpos(sname,"_")))
; print, output_name
; print, sname
; envi_delete_rois, /all

kernel = [0,1,2,3] ;[lineaire,polynomial,rbf,sigmoidal] ;!! enlever
lineaire!
penalty = [150.0,350.0] ;!! si pas lineaire, on peut rajouter un penalty
: 100 200 300
kernel_bias = 1
kernel_degree = 2
thresh = 0.0
kernel_gamma = 1.0/nb
pyramid_levels = 0

; Decoupage (6 par 6) et classification des tuiles /////////////
nsPAR6 = ns/6 & nlPAR6 = nl/6
ids = -1 & idl = -1
SUBdims = lonarr(5) & SUBdims[0] = -1L
tile_id = 0

for il = 01, (nl - nlPAR6), nlPAR6 do begin

    idl += 1

    for is = 01, (ns - nsPAR6), nsPAR6 do begin

        ids += 1
        SUBdims[1:2] = ids EQ 5 ? [is,ns-1] : [is,is+(nsPAR6-1)]
        SUBdims[3:4] = idl EQ 5 ? [il,nl-1] : [il,il+(nlPAR6-1)]

        tile_id += 1
        tile_dir =
strcompress(strmid(file,0,strpos(file,file_basename(file)))+'tile'+string(tile_id),/remove_all)
        file_mkdir(tile_dir

        ; Indice ndvi sur la tuile afin de soit la classer en eau, ou de
        l'envoyer aux SVMs

        tile_pir = envi_get_data(FID=fid_in, pos=pos[0], dims=SUBdims)
        tile_rouge = envi_get_data(FID=fid_in, pos=pos[1], dims=SUBdims)

        NDVI = (float(tile_pir) - float(tile_rouge)) / (float(tile_pir) +
float(tile_rouge))
        help,NDVI

        if max(NDVI) LE -0.1 then begin
            data = (tile_pir * 0) * 1B ; * par indice de la classe eau !!

envi_write_envi_file,data,data_type=1,map_info=map_info,offset=SUBdims[1],n
b=1,nl=SUBdims[4]+1,ns=SUBdims[2]+1,file_type=file_type, $

NUM_CLASSES=num_classes,LOOKUP=lookup,CLASS_NAMES=class_names,INTERLEAVE=0,
OUT_NAME=strcompress(tile_dir+'\''+strmid(sname,0,strpos(sname,"_"))+'_tile'
+string(tile_id)+'_Fclas',/remove_all)
        help,temporary(tile_pir)
        help,temporary(tile_rouge)
        help,temporary(NDVI)

```

```

    CONTINUE
endif

if max(NDVI) EQ 1.0 then begin
    zero = where(tile_rouge EQ 0, countz)
    if countz NE 0 then begin
        positif = where(tile_pir[zero] GT 0, countp)
        if countp NE 0 then begin
            data = (tile_pir * 0) * 1B ; * par indice de la classe eau !!!
    endif

envi_write_envi_file,data,data_type=1,map_info=map_info,offset=SUBdims[1],n
b=1,nl=SUBdims[4]+1,ns=SUBdims[2]+1,file_type=file_type, $

NUM_CLASSES=num_classes,LOOKUP=lookup,INTERLEAVE=0,OUT_NAME=strcompress(til
e_dir+'\'+strmid(sname,0,strpos(sname,"_"))+'_tile'+string(tile_id)+'_Fclas
',/remove_all)
    help, temporary(tile_pir)
    help, temporary(tile_rouge)
    help, temporary(NDVI)
    CONTINUE
endif
endif
endif

; APPEL SVM avec boucle sur les parametres :

for ik = 0, 3 do begin
    for ip = 0, 1 do begin

        print, 'TEMOIN_start'
        help, SUBdims
        print, SUBdims
        dims=SUBdims
        ENVI_DOIT, 'ENVI_SVM_DOIT', $
            FID=fid_in, $
            DIMS=dims, $
            POS=pos, $
            ROI_IDS=roi_ids, $

        OUT_NAME=strcompress(tile_dir+'\'+strmid(sname,0,strpos(sname,"_"))+'_tile'
        +string(tile_id)+'_K'+string(ik)+'_P'+string(ip)+'_classif',/remove_all), $
            R_FID=fid_class, $

        RULE_OUT_NAME=strcompress(tile_dir+'\'+strmid(sname,0,strpos(sname,"_"))+'_
        tile'+string(tile_id)+'_K'+string(ik)+'_P'+string(ip)+'_rule',/remove_all),
        $
            RULE_FID=fid_rule, $
            KERNEL_TYPE=kernel[ik], $
            PENALTY=penalty[ip], $
            KERNEL_DEGREE=kernel_degree, $
            KERNEL_BIAS=kernel_bias, $
            THRESH=thresh, $
            KERNEL_GAMMA=kernel_gamma, $
            PYRAMID_LEVELS=pyramid_levels

        help, dims
        print, 'dims juste apres svm', dims
        print, 'TEMOIN_end'

        ENVI_FILE_MNG, /DELETE, ID=fid_class
    endfor

```

```

    endfor

    endfor

    endfor

end

pro selecteur_images_classification ; D. Réchal
COMPILE_OPT strictarr
COMPILE_OPT IDL2

rep = dialog_pickfile(title='Repertoire des images',/directory)

if rep[0] EQ "" then begin
  res=dialog_message("Aucun repertoire selectionne",/information)
  RETURN
endif

dossiers = file_search(rep+"\*",/TEST_DIRECTORY,count=n)

if n EQ 0 then begin
  res=dialog_message("Aucun dossiers dans le repertoire selectionne",/information)
  RETURN
endif

mandatory = ["sub_reflectance","testROIS.roi"]

for i = 0L, n-1 do begin

  id = 0b

  for iman = 0,1 do begin
    chek = file_search(dossiers[i]+"\\"+mandatory[iman],count=c)
    if c eq 0 then begin
      print,"Le repertoire "+dossiers[i]+" ne contient pas
"+mandatory[iman]!""
      id = 1b
      break
    endif
  endfor

  if id eq 1b then CONTINUE

  file = dossiers[i]+"\sub_reflectance"
  rois = dossiers[i]+"\testROIS.roi"

  envi_delete_rois, /all
  classification,file,rois
  envi_delete_rois, /all

  sous_dossiers = file_search(dossiers[i]+'\*',/TEST_DIRECTORY,count=nsd)

  if nsd EQ 0 then begin
    res=dialog_message("Aucun sous dossiers de tuiles classes dans
"+dossiers[i]!"",/information)

```

```
    RETURN
  endif

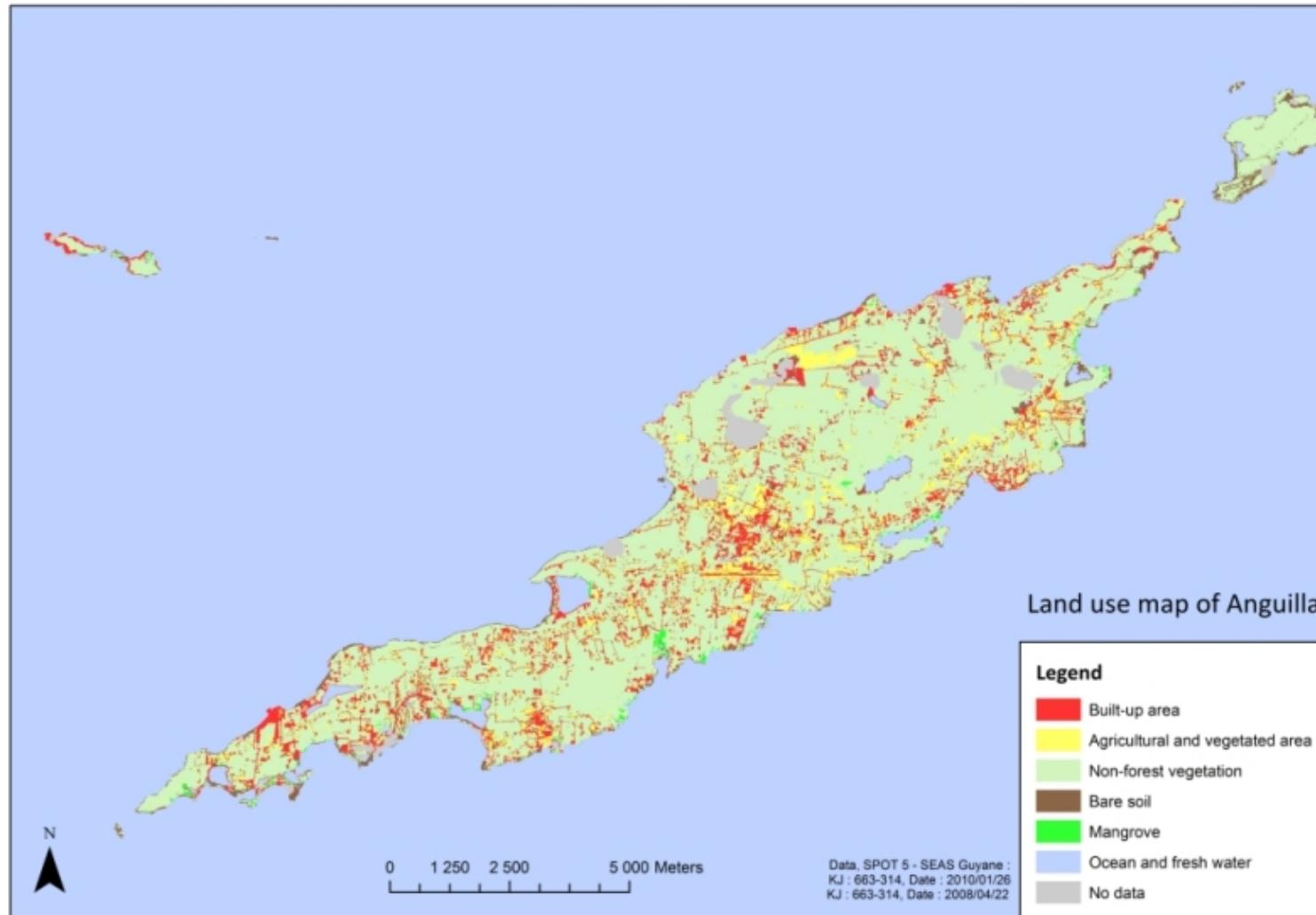
  for j = 01, nsd-1 do begin
    tiledirectory = sous_dossiers[j]
    process_rule,tiledirectory

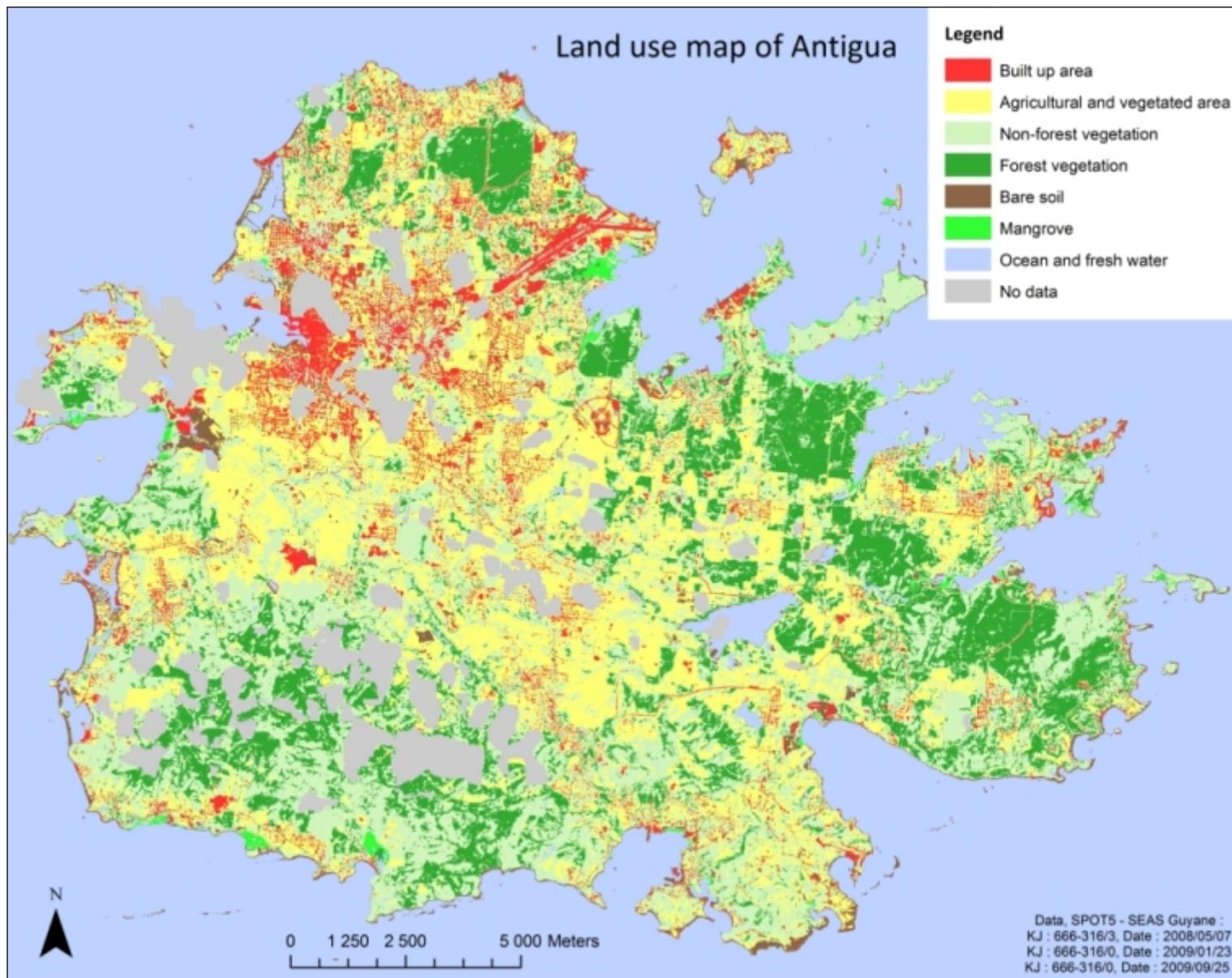
  endfor

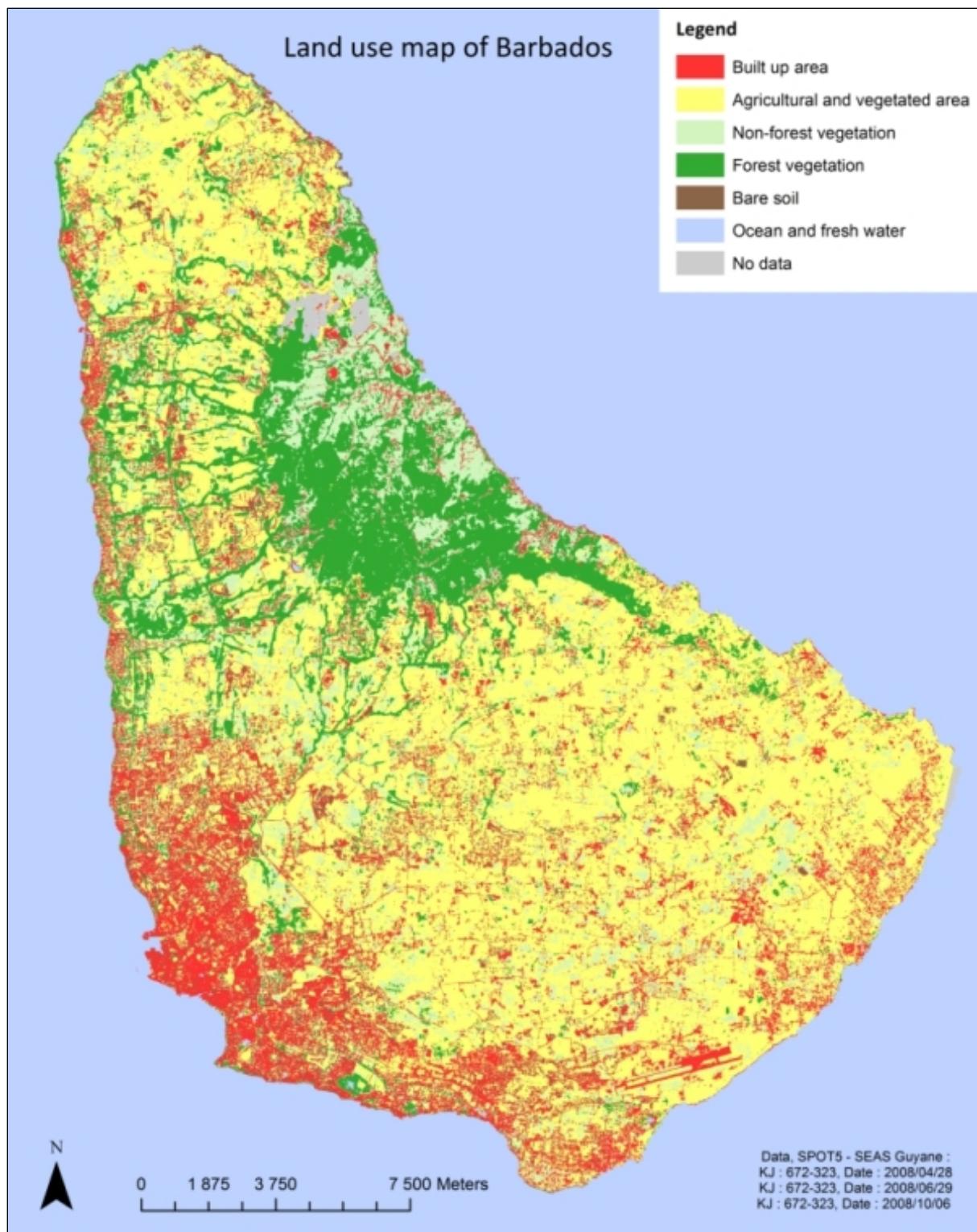
  endfor

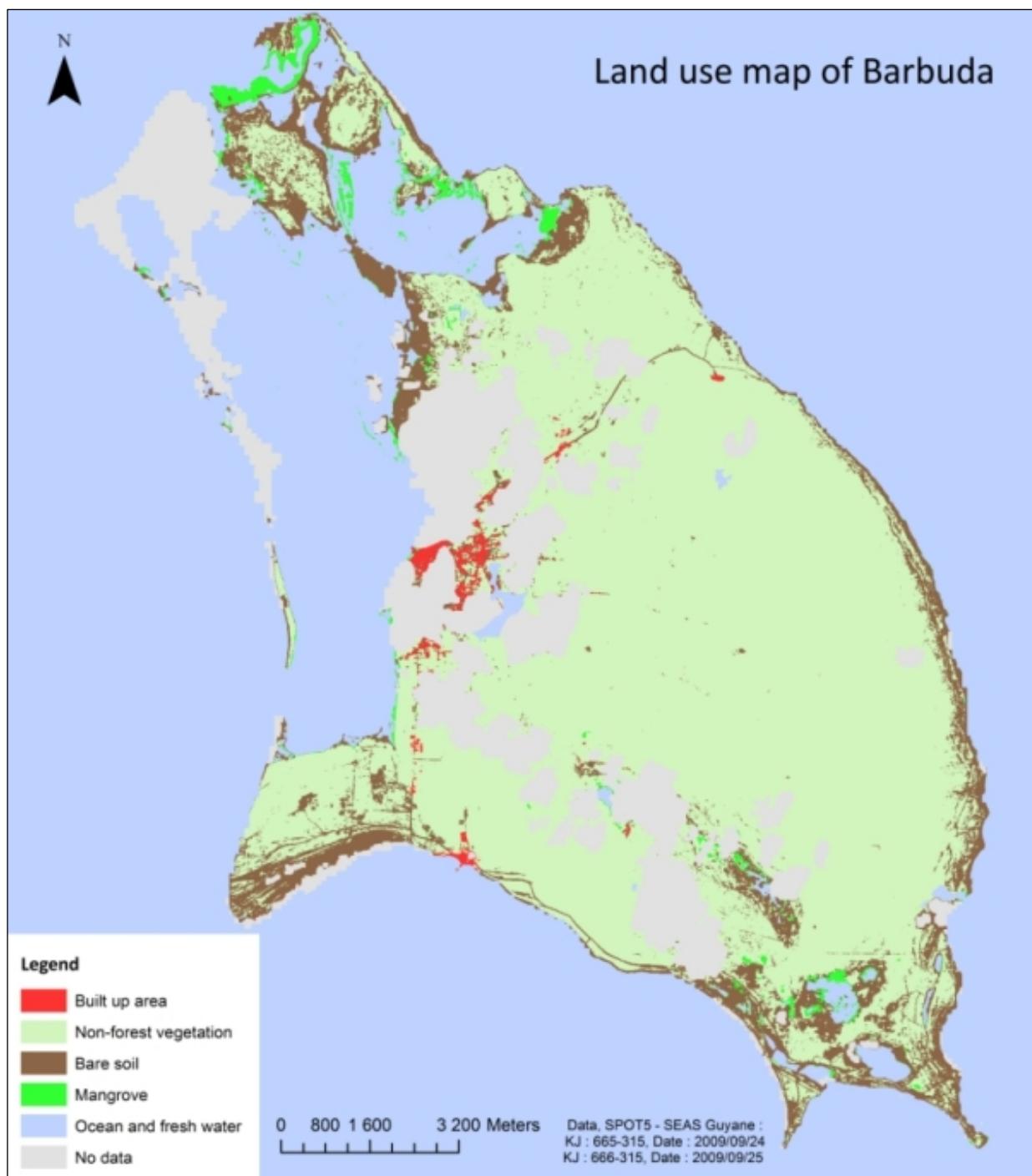
end
```

ANNEXE 3 : Cartes d'occupation des sols par îles

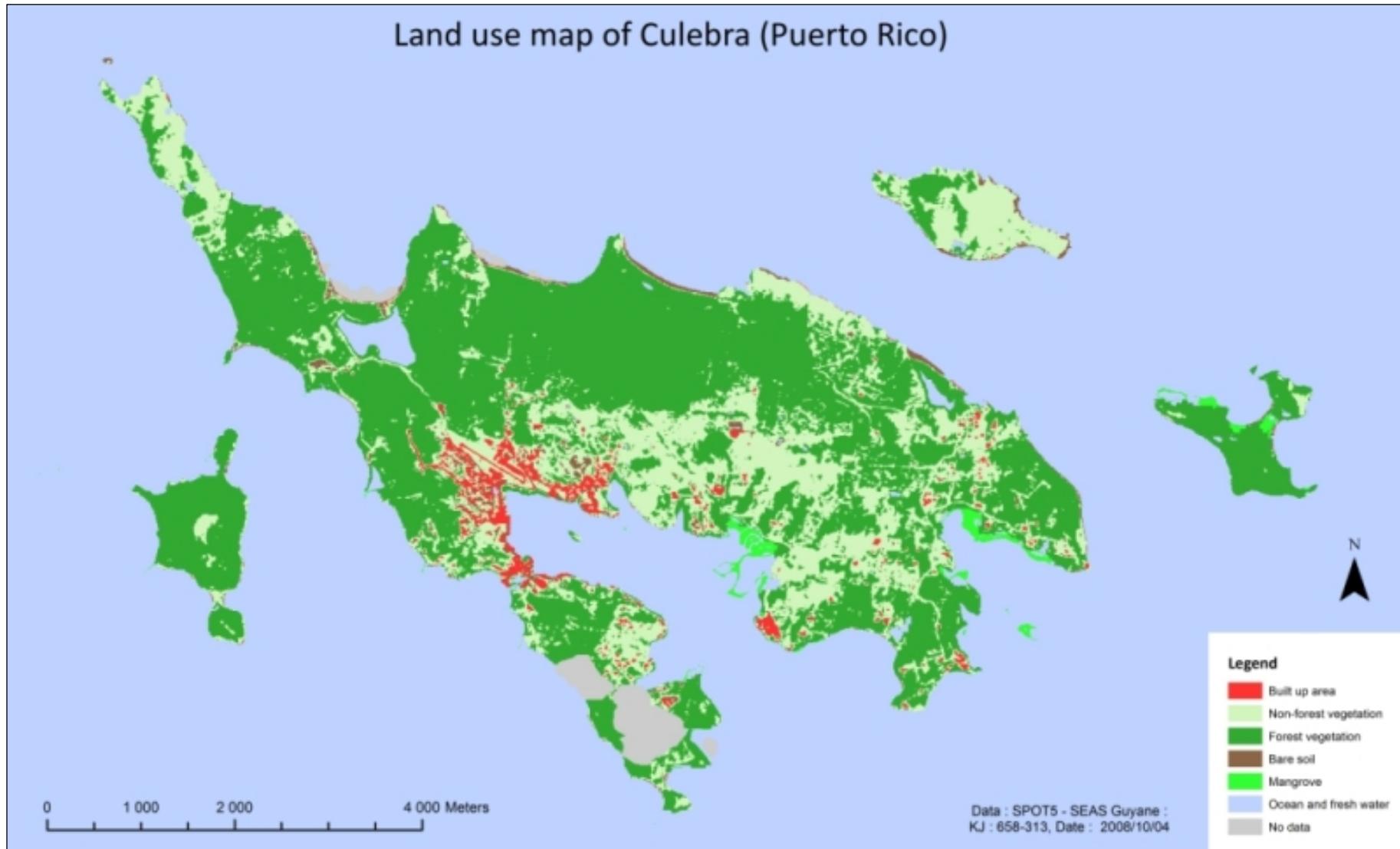




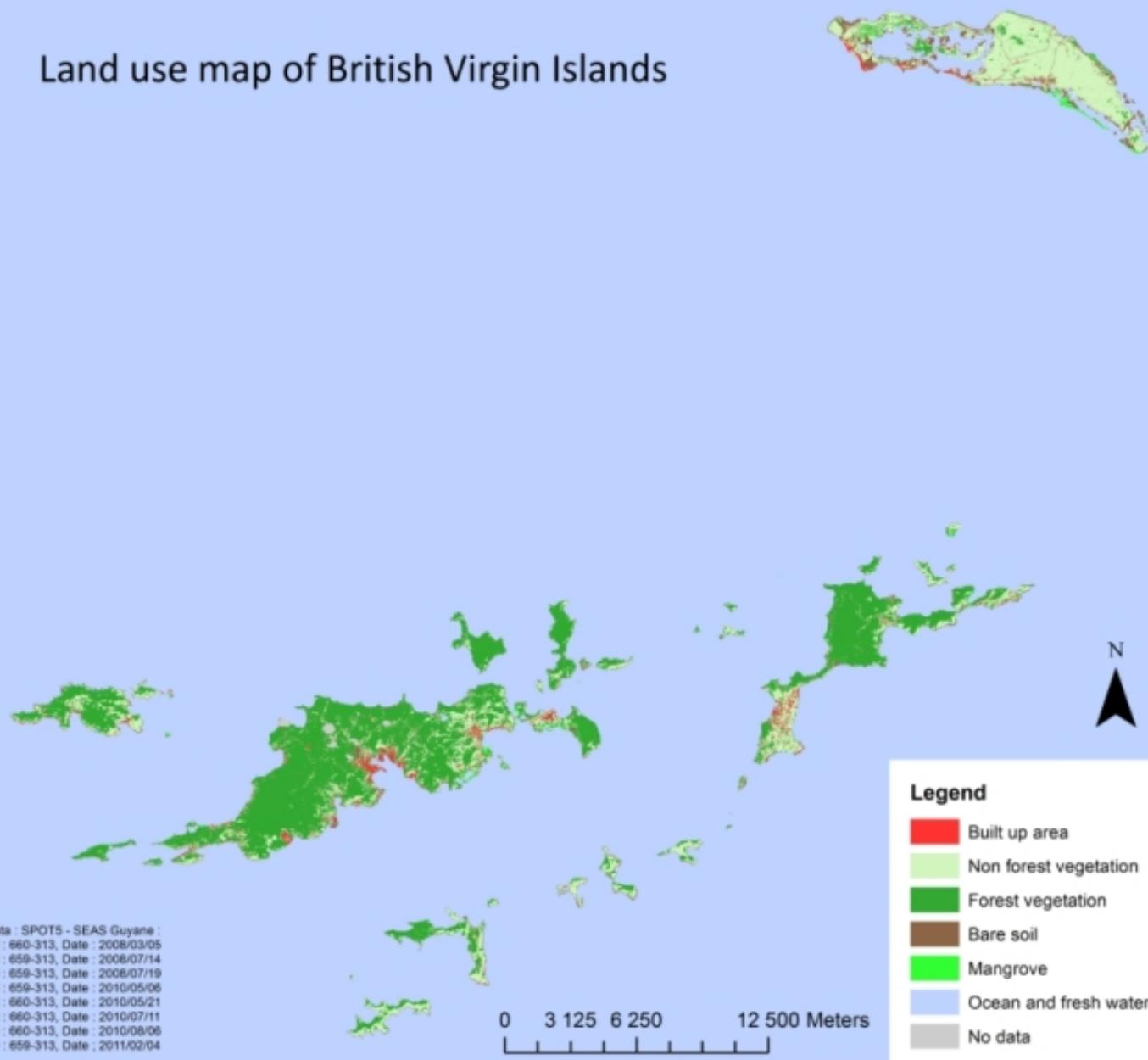


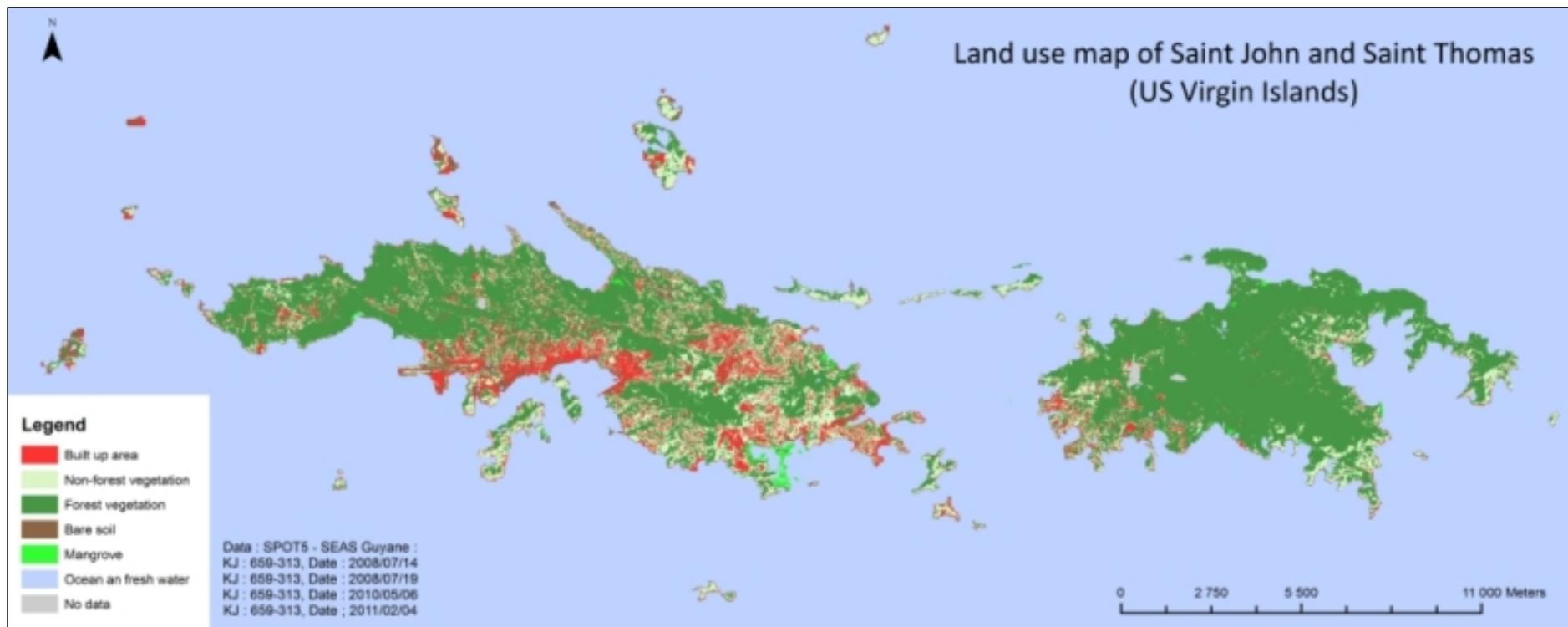


Land use map of Culebra (Puerto Rico)



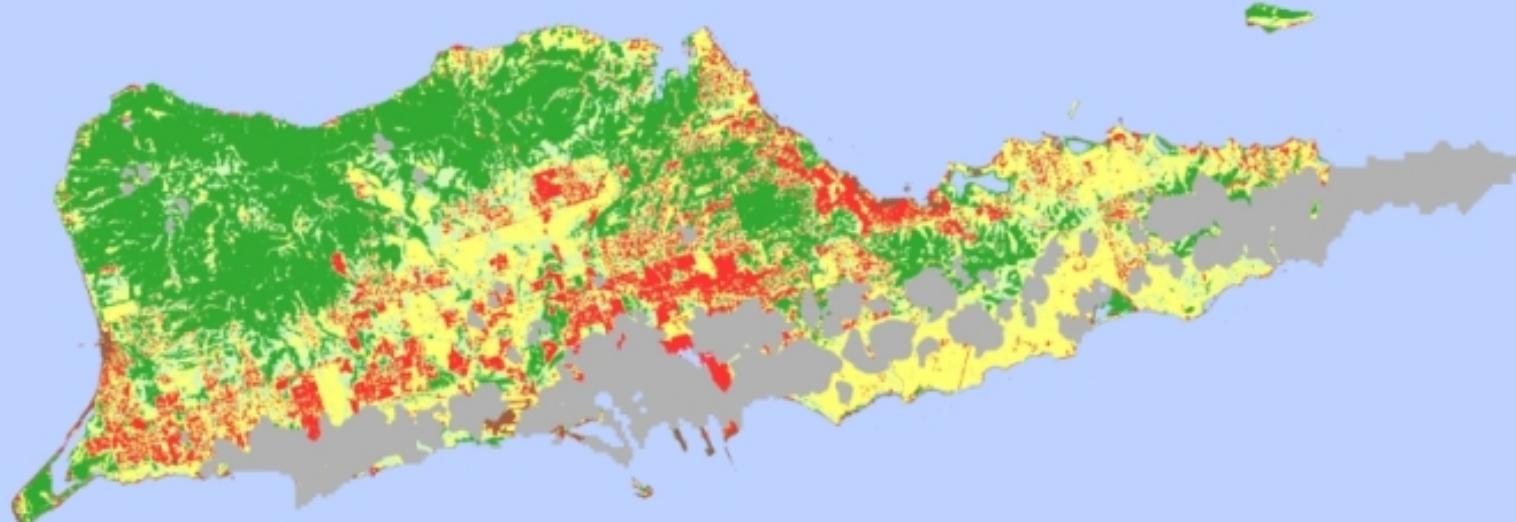
## Land use map of British Virgin Islands





N

Land use map of Saint Croix (US Virgin Islands)



**Legend**

- Built up area
- Agricultural and vegetated area
- Non-forest vegetation
- Forest vegetation
- Bare soil
- Ocean and fresh water
- No data

Data : SPOT5 - SEAS Guyane :  
KJ : 659-314, Date : 2011/02/04

0 2 500 5 000 10 000 Meters

## Land use map of Saba and Eustachius (NL)



N

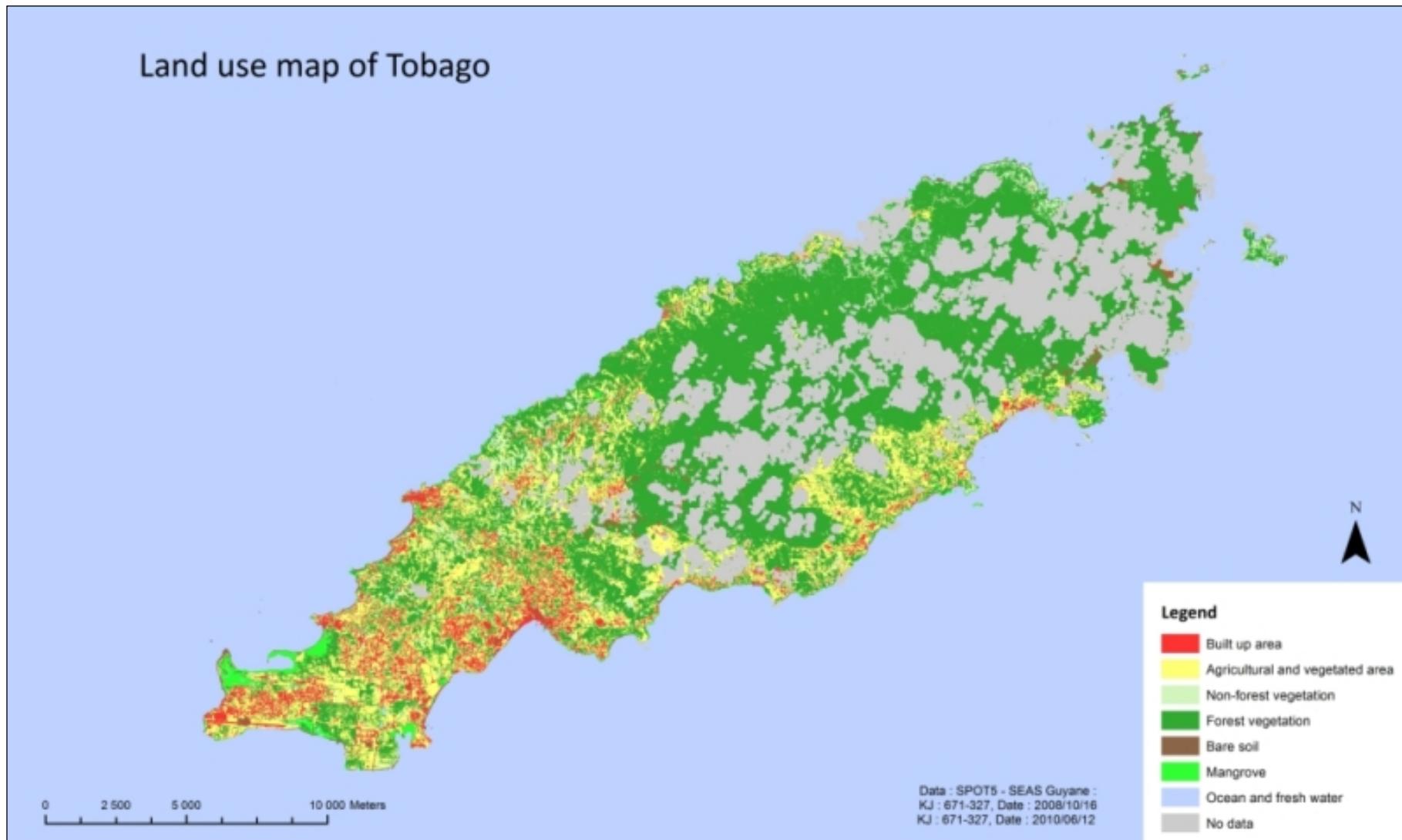
### Legend

- Built up area
- Agricultural and vegetated area
- Non-forest vegetation
- Forest vegetation
- Bare soil
- Ocean and fresh water
- No data

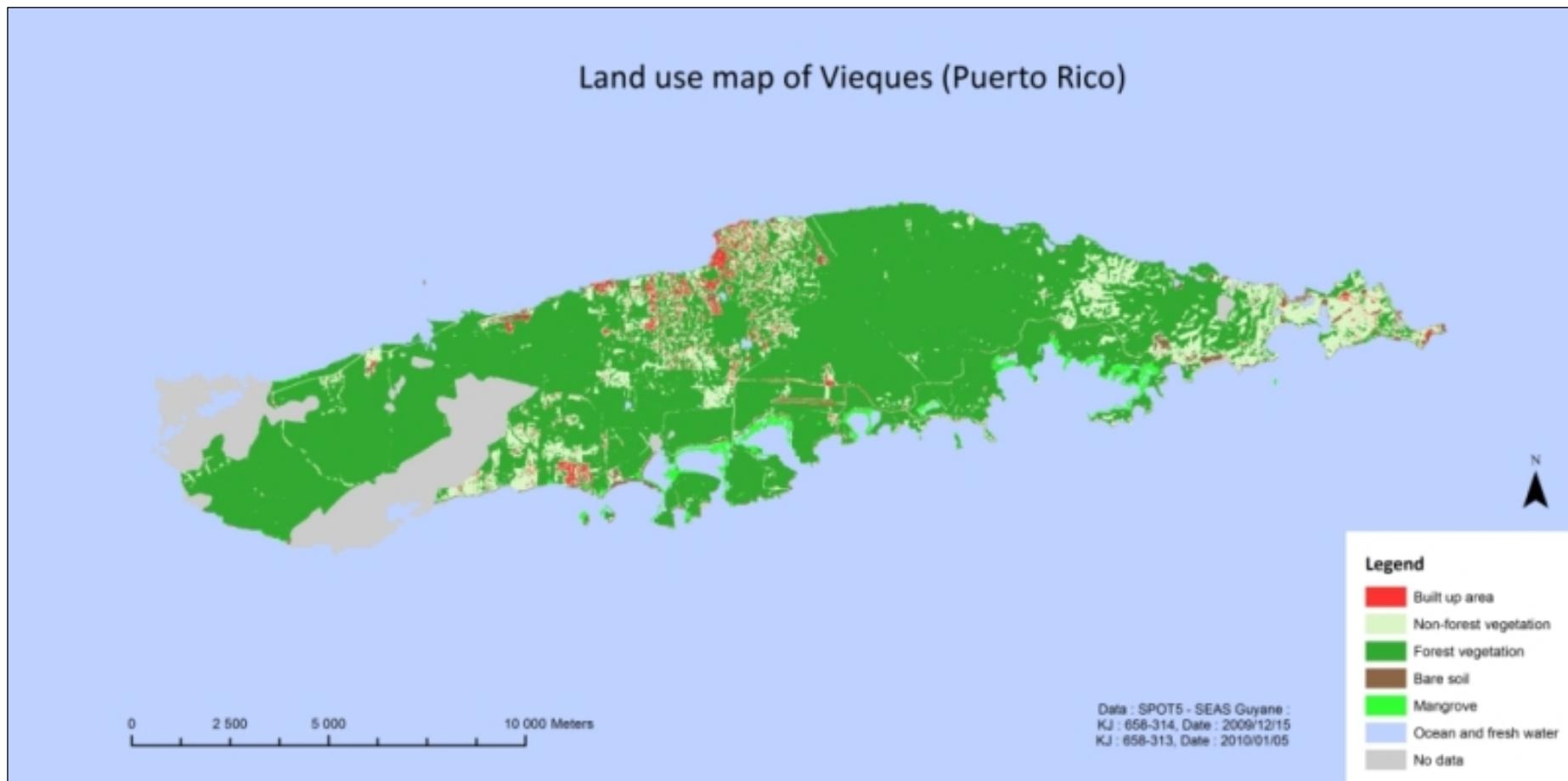
Data : SPOT5 - SEAS Guyane :  
KJ : 663-315, Date : 2008/04/22  
KJ : 662-315, Date : 2009/08/19  
KJ : 663-315, Date : 2010/01/26

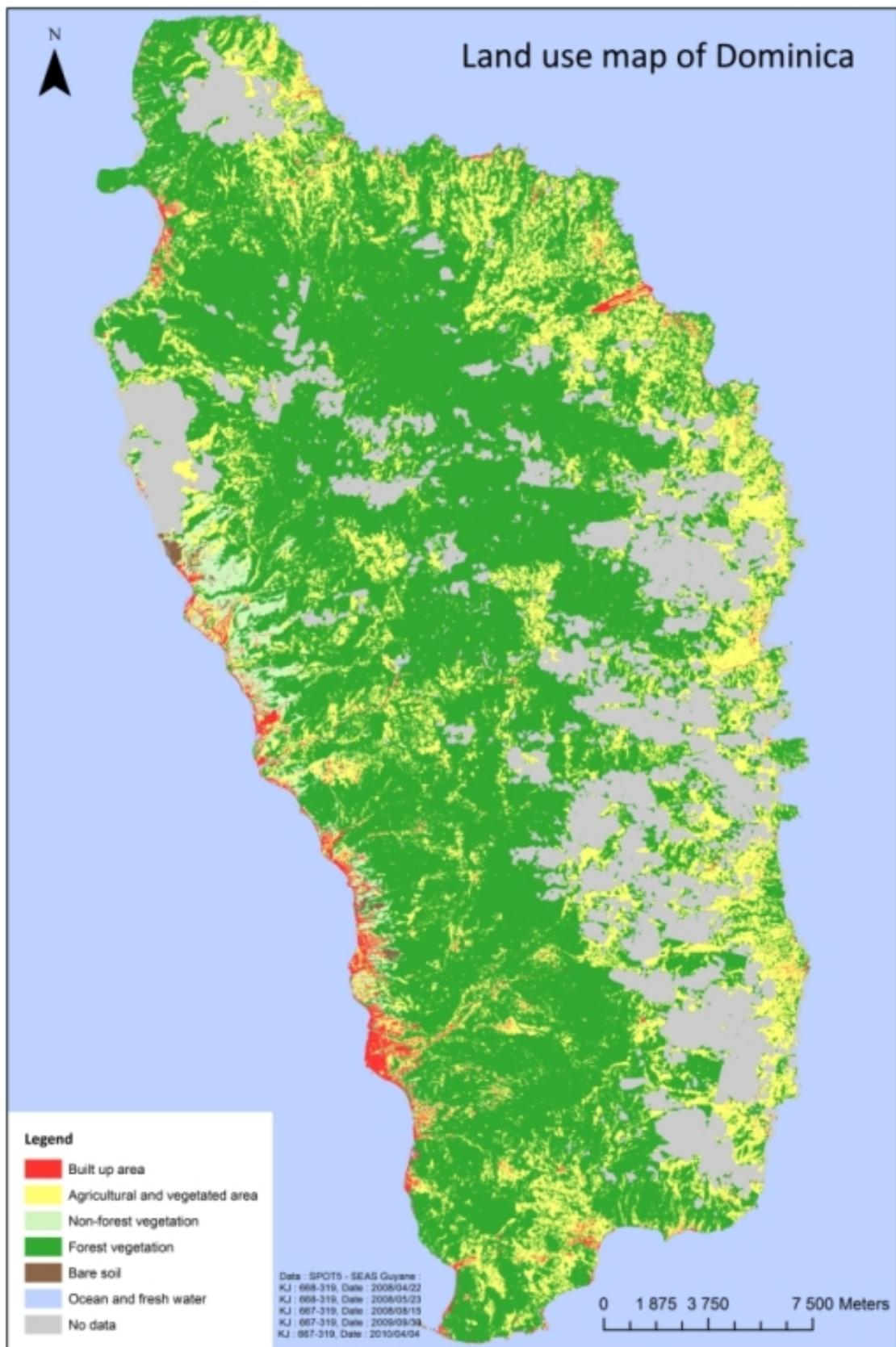


Land use map of Tobago

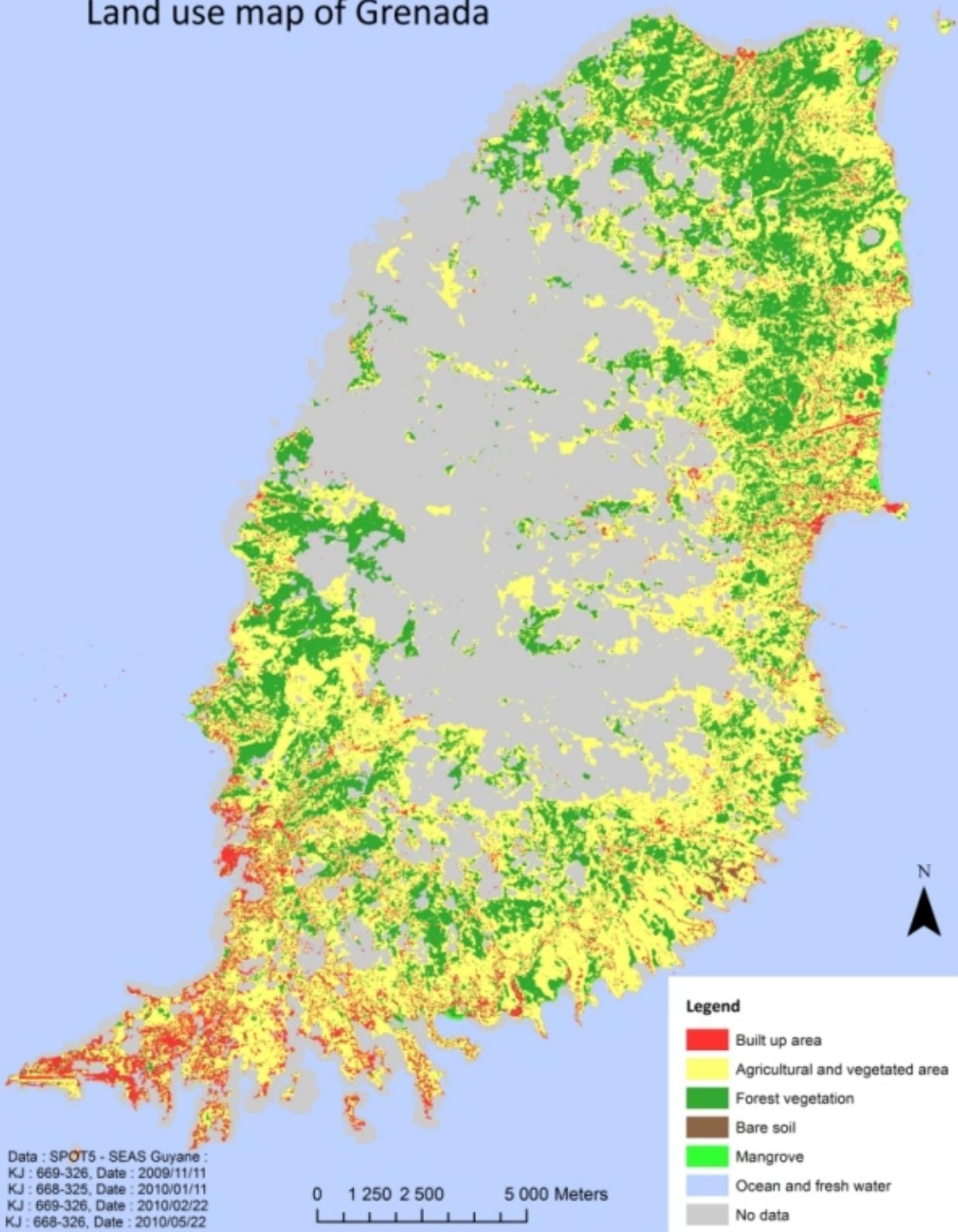


Land use map of Vieques (Puerto Rico)

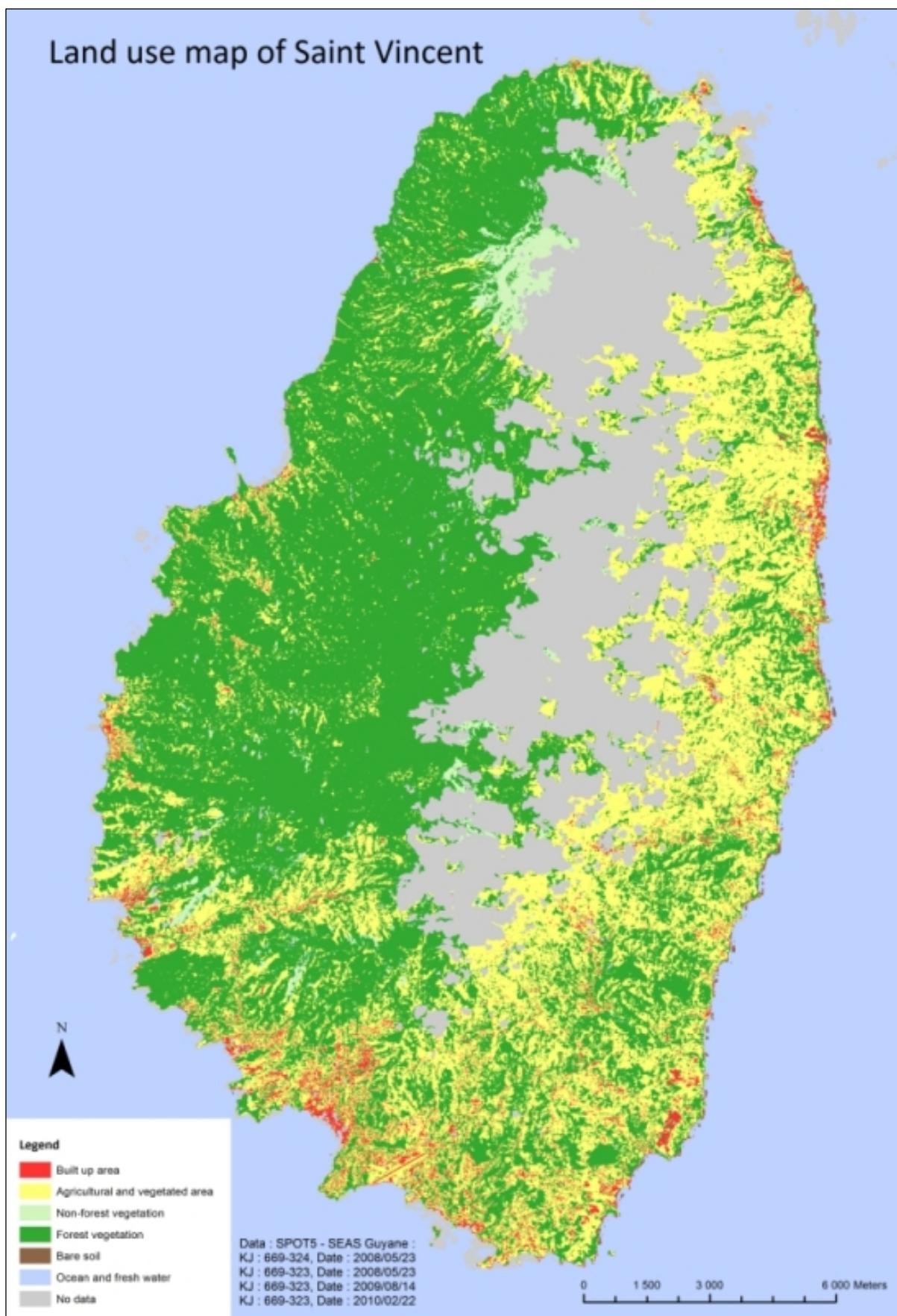




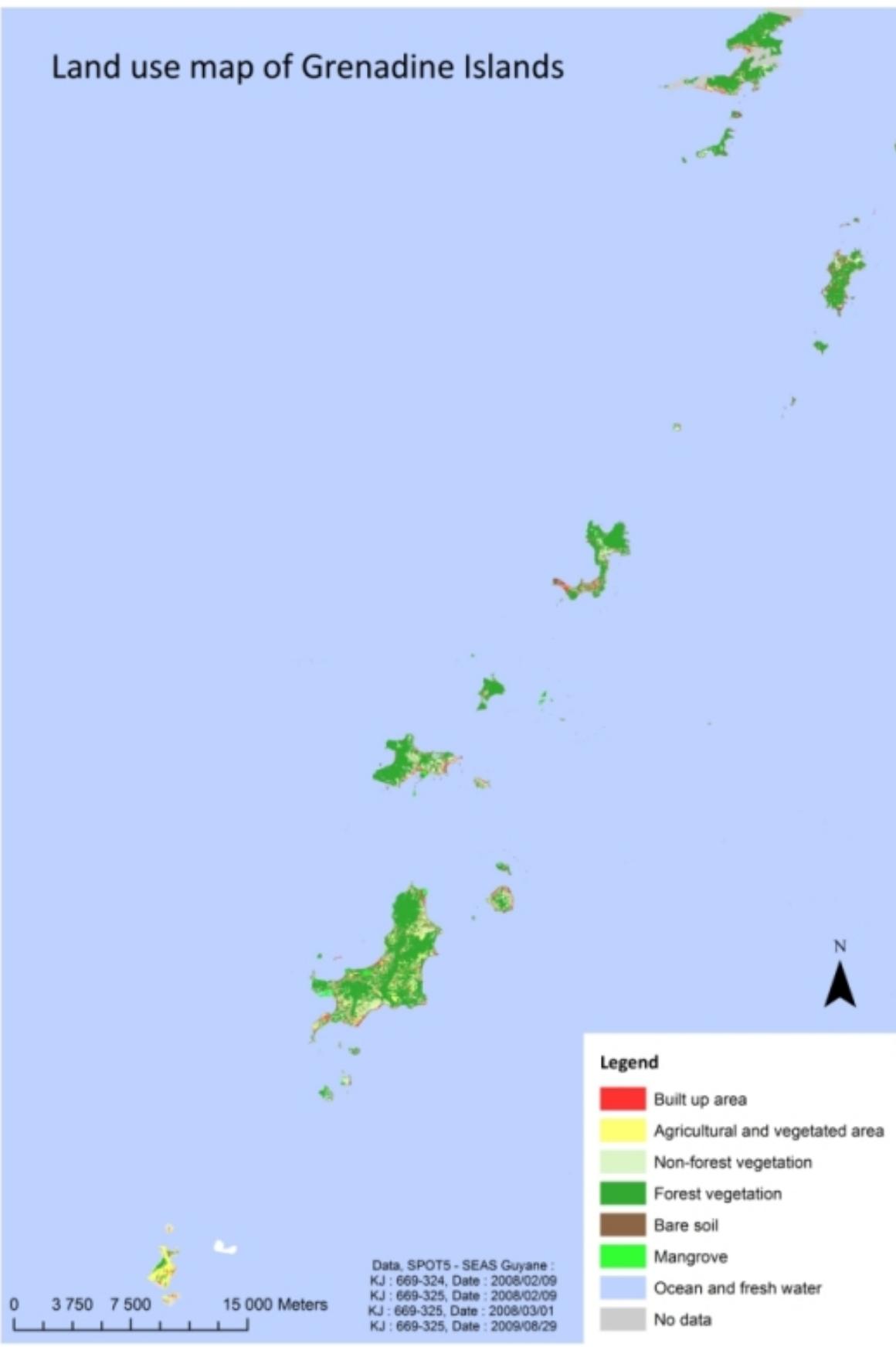
## Land use map of Grenada



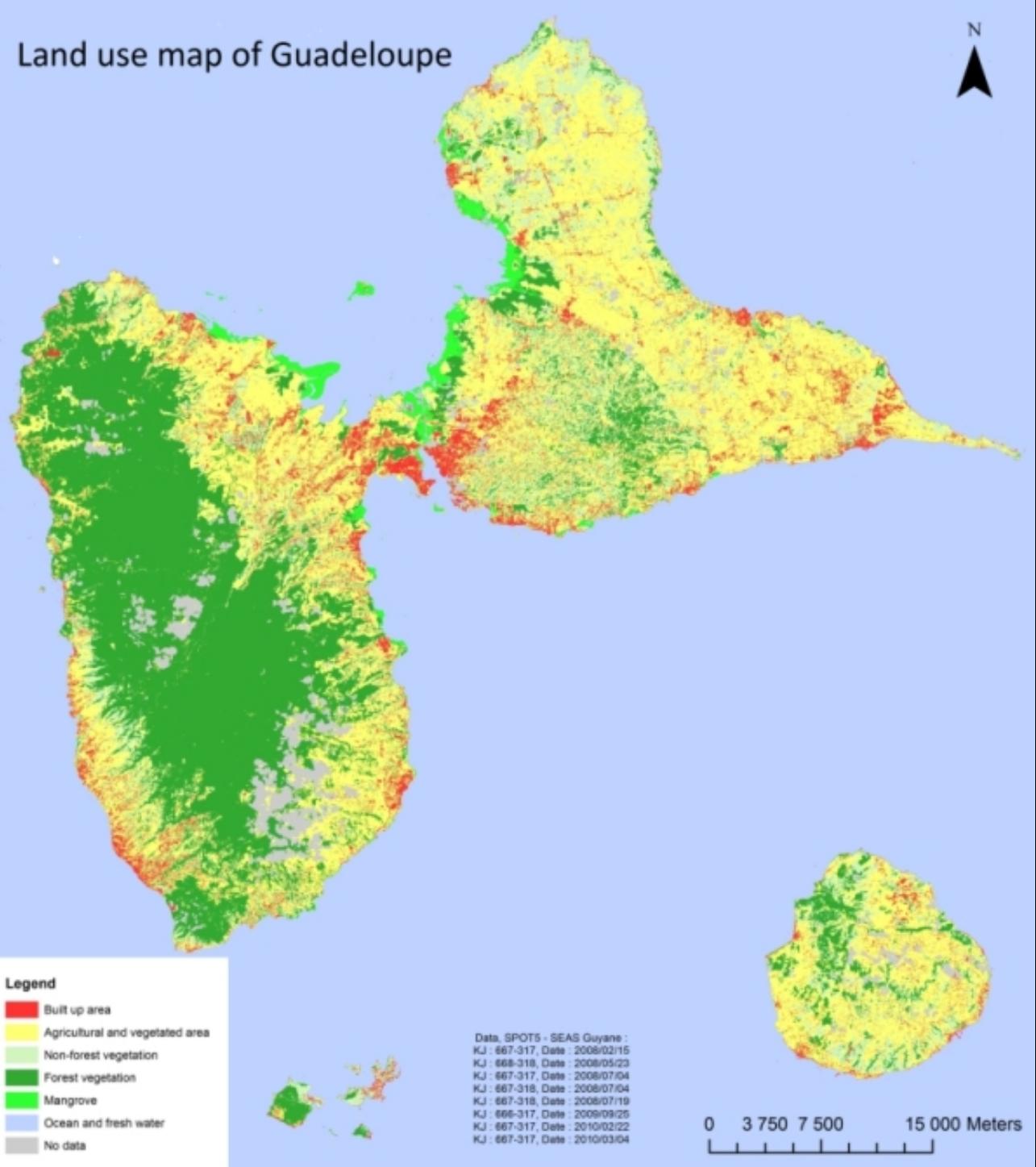
## Land use map of Saint Vincent



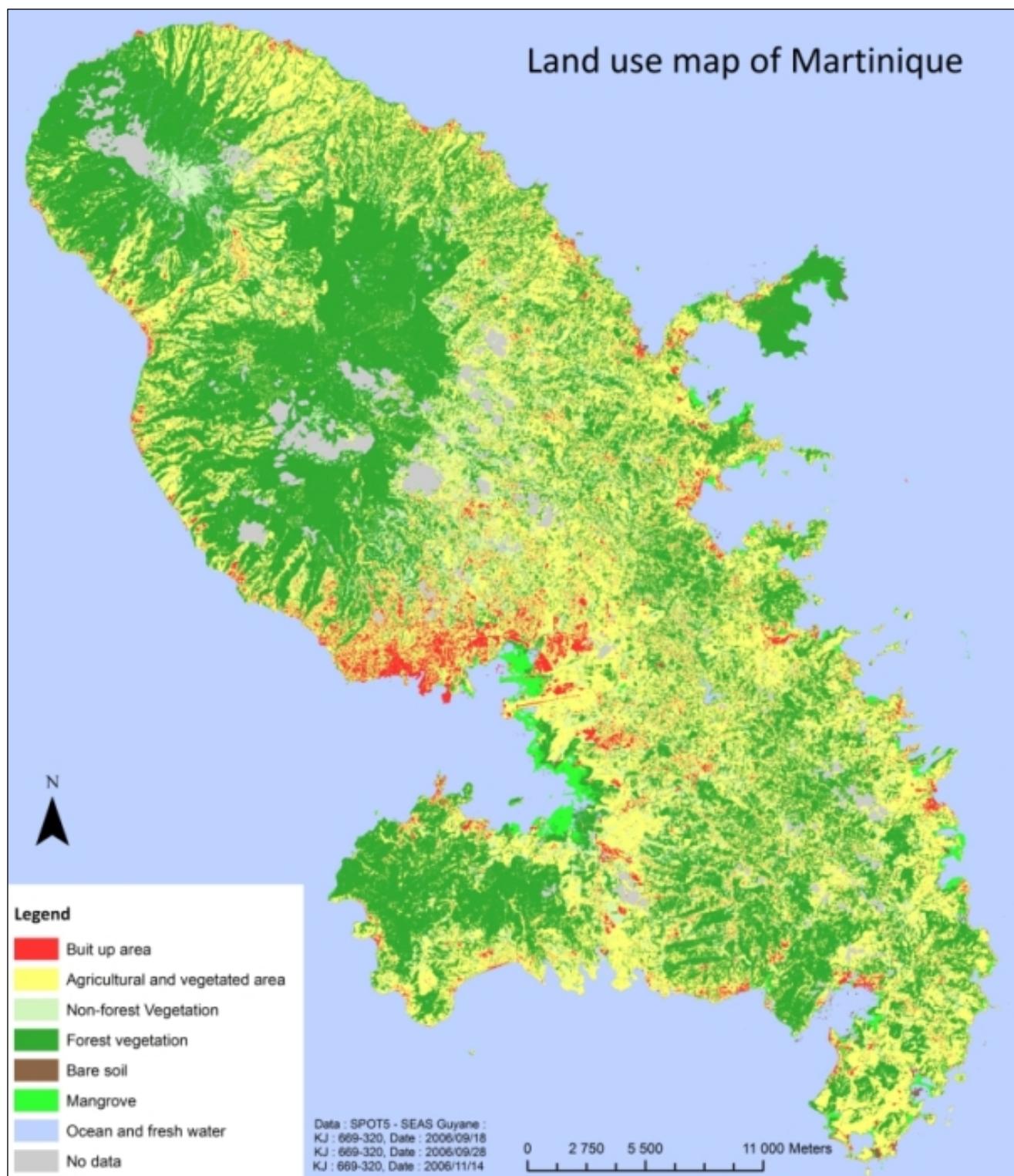
## Land use map of Grenadine Islands



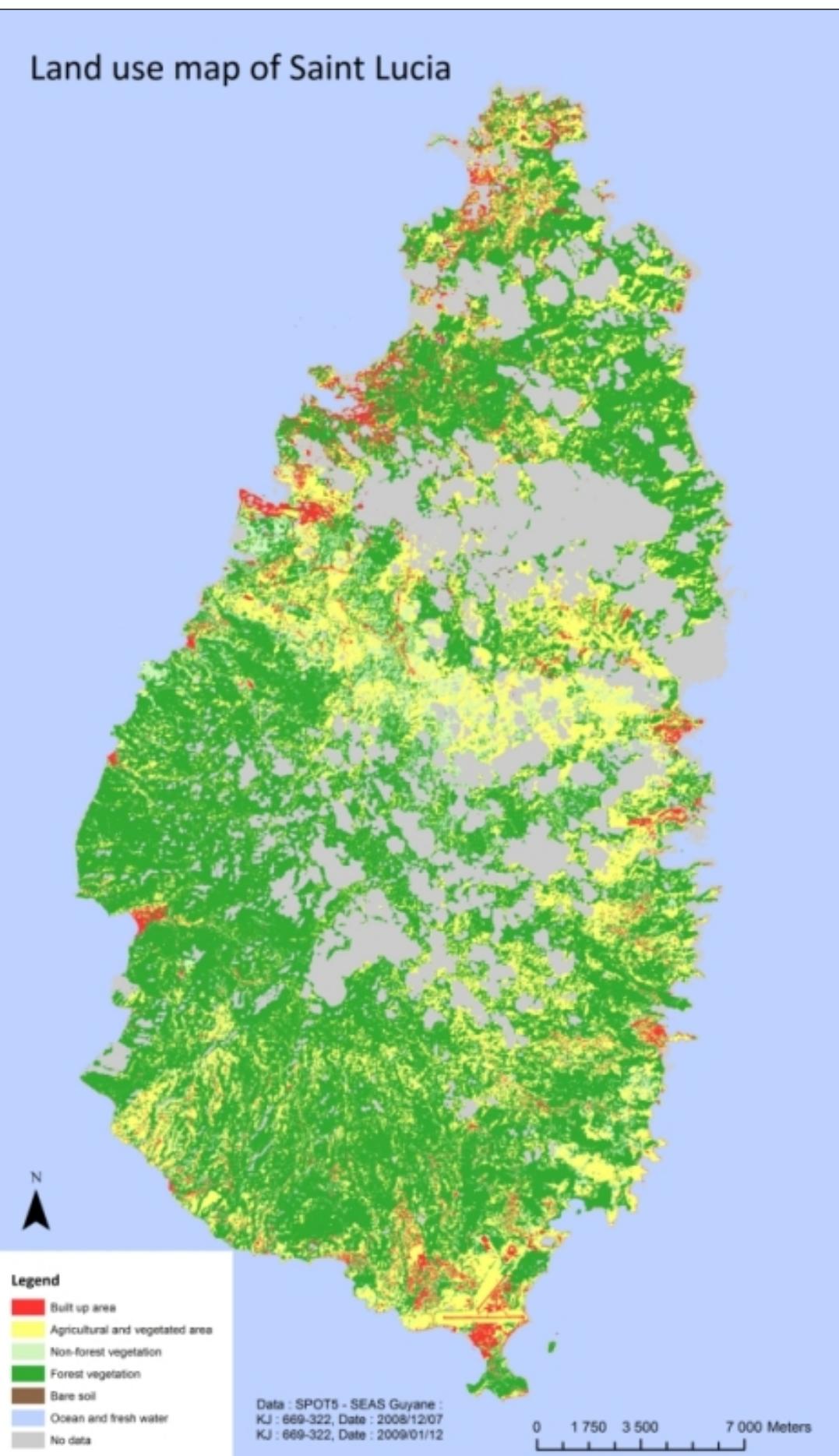
Land use map of Guadeloupe



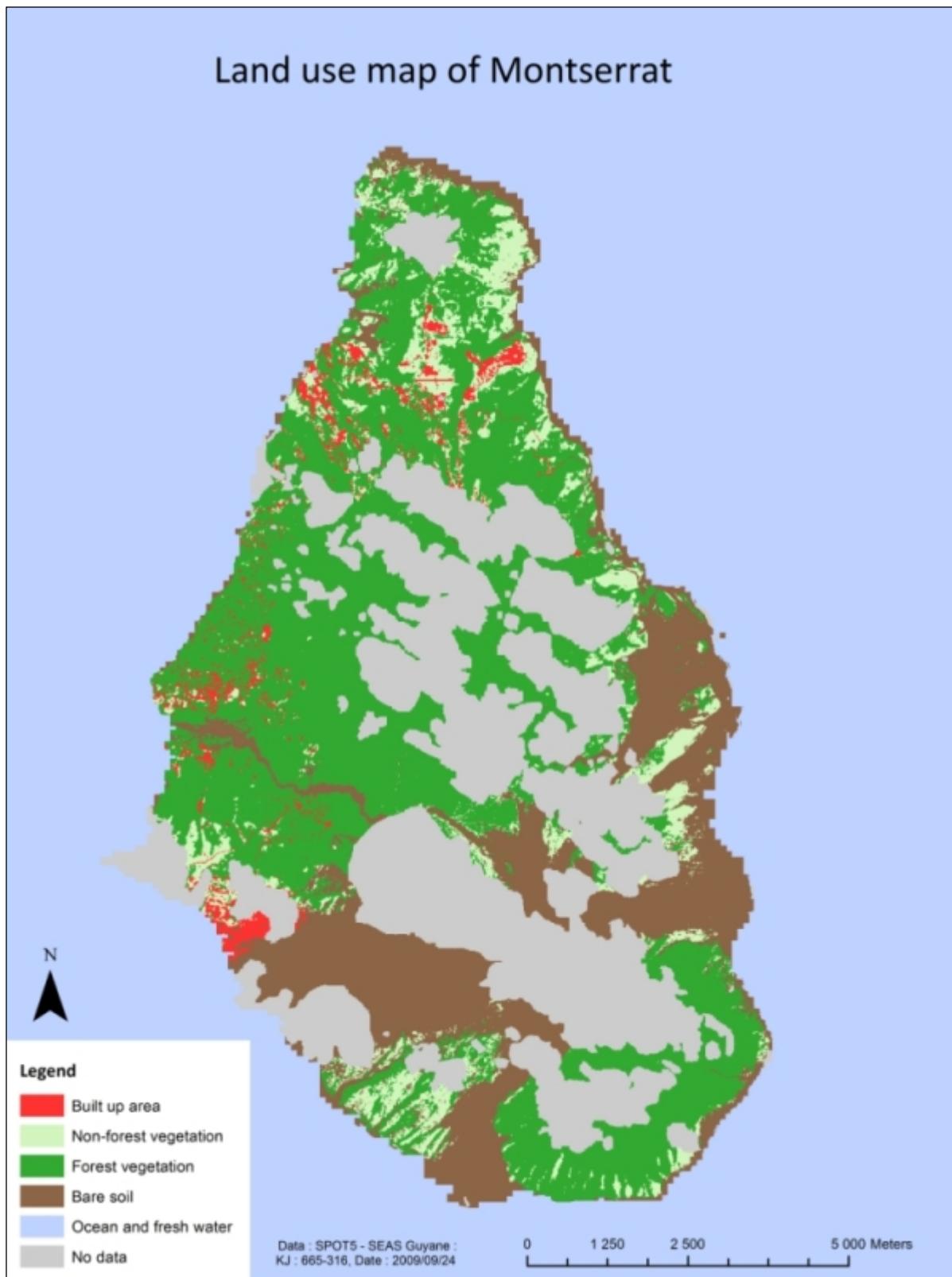
Land use map of Martinique



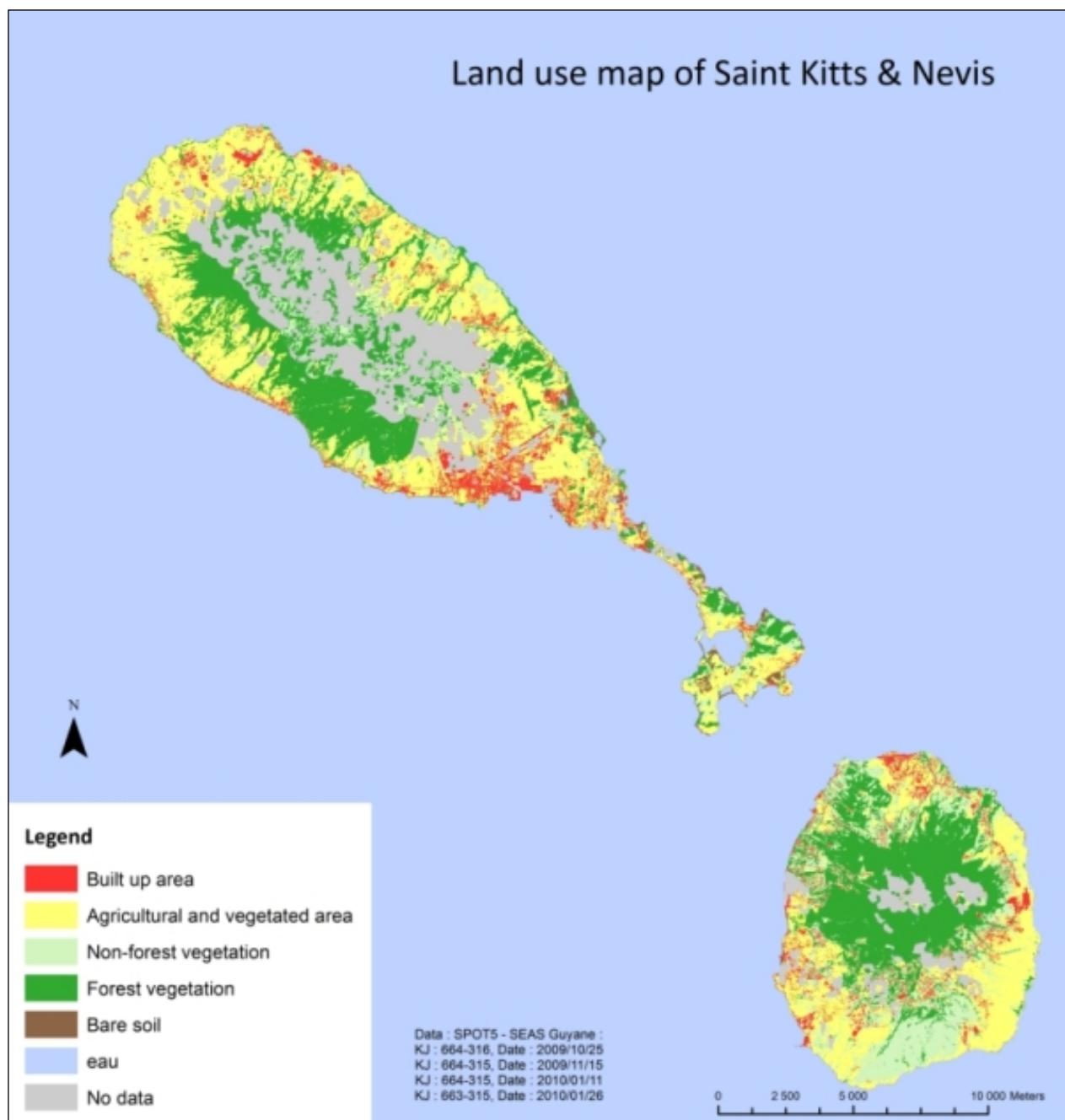
## Land use map of Saint Lucia

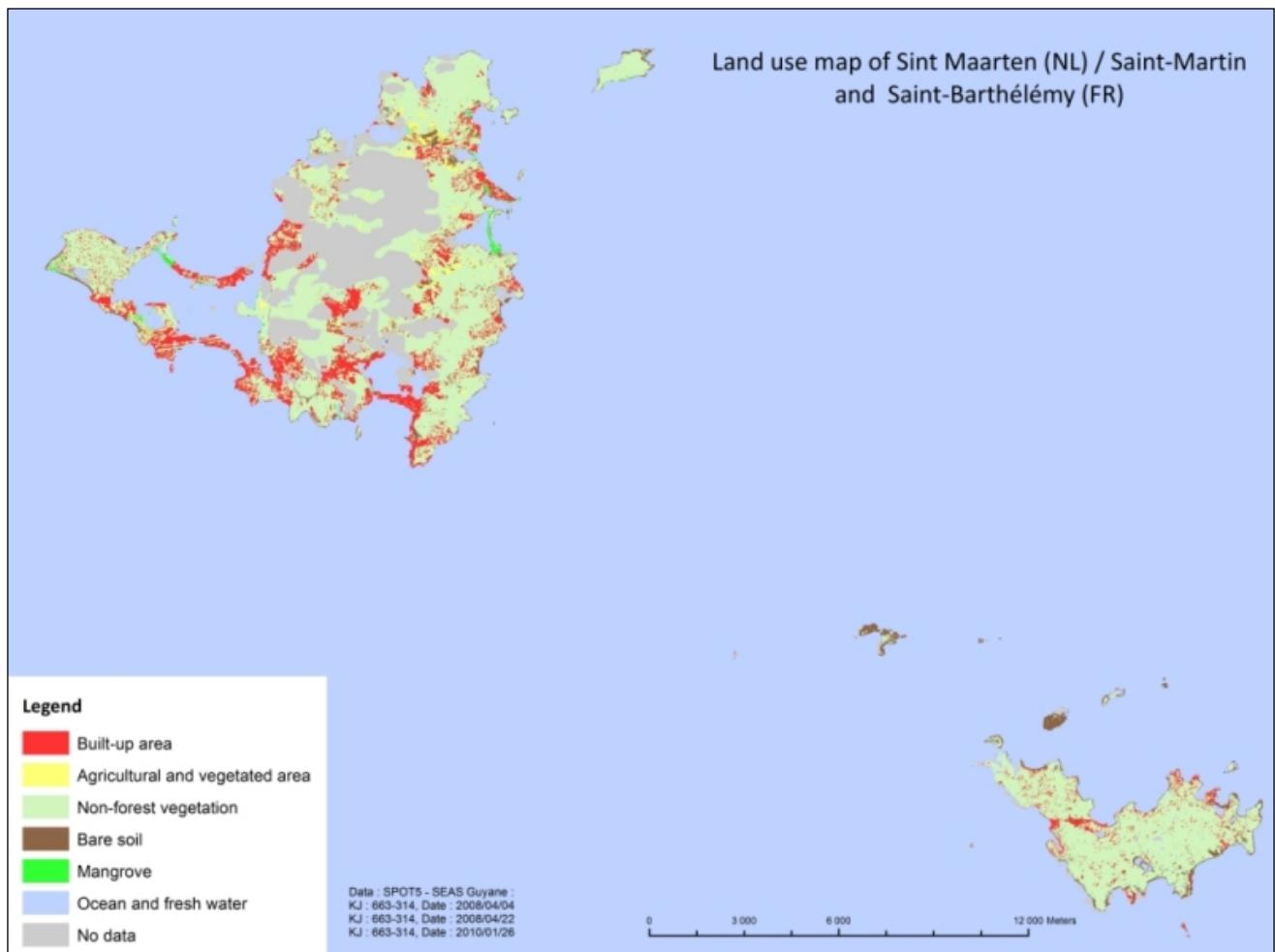


## Land use map of Montserrat



## Land use map of Saint Kitts & Nevis





**Legend**

- Built up area
- Agricultural and vegetated area
- Non-forest area
- Forest area
- Bare soil
- Mangrove
- Ocean and fresh water
- No data

Land use map of Trinidad

