



## Téledétection et dynamiques territoriales vers un Observatoire de l'occupation du sol en Guyane



**Henri LABORDE**

**DEA « Environnement et Paysage »**  
Département de Géographie  
de l'Université de Toulouse le Mirail  
Année 2004-2005



Responsable du Stage IRD (Cayenne) : M. **Laurent POLIDORI**  
Responsable Formation (Toulouse) : M. **Jean-Charles FILLERON**

RESUME : Le besoin en surveillance de l'environnement s'est considérablement accru en Guyane dans les deux dernières décennies, motivé par des phénomènes comme l'accroissement de la pression foncière en zone rurale, l'extension désordonnée de certaines zones péri-urbaines de la bande littorale, tous deux contraints d'absorber la très forte croissance démographique en cours, et le développement anarchique de l'orpillage clandestin à l'intérieur du pays, d'autant que ces phénomènes sont accompagnés par la recrudescence de maladies transmissibles comme le paludisme et la dengue. Face à ces divers enjeux, la télédétection est vite apparue comme l'outil idéal, de par sa capacité à fournir des informations précises et actualisables sur l'état d'occupation de territoires étendus souvent difficiles d'accès. C'est ainsi que de nombreuses applications originales des techniques de la télédétection ont vu le jour ces dernières années en Guyane dans des domaines comme le suivi de la déforestation, l'étude du littoral et des zones humides, la croissance urbaine, la santé des populations et l'épidémiologie. Au fil des ans, la nécessité d'un outil davantage global et pérenne susceptible d'intégrer ces différentes thématiques à destination des gestionnaires de l'espace s'est faite de plus en plus ressentir, et une réflexion allant dans le sens de la mise en place d'un Observatoire de l'occupation du sol a été engagée au niveau de différents organismes dont le Laboratoire Régional de Télédétection de Cayenne. Le présent document peut être considéré comme une étude de faisabilité, une « préfiguration » d'un outil de ce type appliqué à la réalité guyanaise. L'intérêt d'un tel projet est d'autant plus grand qu'il est contemporain de l'installation d'une station de réception d'images des satellites SPOT et ENVISAT à Cayenne, et donc de la disponibilité prochaine d'un véritable « flux tendu » d'images satellitaires haute résolution dans le département sur l'ensemble du bassin amazonien, et donc la Guyane, à destination de la communauté scientifique et des gestionnaires de l'espace locaux.

MOTS CLES : OCCUPATION DU SOL – GESTION DE L'ESPACE – TELEDETECTION – MALADIE TROPICALE – ABATTIS – GUYANE

---

## **- TABLE DES MATIERES -**

### **I - LA GUYANE : SITUATION GENERALE ET PETIT HISTORIQUE**

- I-1 DE « VIEILLES TERRES » FRANÇAISES EN AMERIQUE DU SUD...**
  - I-1-1 Milieu physique :**
  - I-1-2 L'Histoire**
- I-2 UNE ENTITE ORIGINALE EN COURS D'INTEGRATION A L'ESPACE HUMAIN AMAZONIEN**
  - I-2-1 l'explosion démographique: le phénomène et ses causes**
  - I-2-2 une population mal répartie sur un territoire pourtant vaste :**
- I-3 UNE PRESSION QUI S'ACCROIT, MAIS PEU DE SOLUTIONS PROPOSEES**
  - I-3-1 Un statut du foncier très particulier ...**
  - I-3-2 qui génère la pénurie des terres.**
  - I-3-3 Des mécanismes d'accès lents et opaques...**
  - I-3-4 qui perpétuent la précarité des installations humaines**
  - I-3-5 des évolutions territoriales difficiles à évaluer (et à prédire)**

### **II- LA NECESSAIRE RE-CONNAISSANCE DES TERRITOIRES GUYANAIS**

- II-1 DES DYNAMIQUES RECENTES PREOCCUPANTES**
  - II-1-1 Dynamiques socio-économiques, dynamiques territoriales :**
  - II-1-2 Dynamiques identitaires, dynamiques territoriales : l'espace social du Haut-Maroni et le Parc du Sud**
- II-2 LE TERRITOIRE ET SA GESTION AU CENTRE DES PREOCCUPATIONS**
  - II-2-1 Entre développement autoritaire, subi ou concerté...**
  - II-2-2 Le manque d'un outil d'évaluation des changements au niveau du territoire**
- II-3 LA QUESTION DE FOND**
- II-4 NOTRE PROPOSITION : ŒUVRER POUR LA MISE EN PLACE D'UN OBSERVATOIRE D'OCCUPATION DU SOL S'APPUYANT SUR LES TECHNIQUES DE LA TELEDETECTION**

### **III- ETUDES MENEES CES DERNIERES ANNEES EN GUYANE ET ETAT DE L'ART**

- III-1 PETIT HISTORIQUE : LES ORGANISMES DE RECHERCHE PRESENTS EN GUYANE**
- III-2 LES PROGRAMMES DE RECHERCHE RECENTS ET EN COURS**
  - III-2-1 Les principales thématiques abordées**

- III-2-2 La problématique de la recherche au service du développement régional**
- III-3 LA TELEDETECTION EN GUYANE : PANORAMA DES DONNES DISPONIBLES**
  - III-3-1 Rapide introduction à la discipline**
  - III-3-2 Le potentiel en données satellitaires**
  - III-3-3 Le potentiel en données aéroportées**
  - III-3-4 Les autres types de données: laser altimétriques, hyperspectrales :**
  - III-3-5 Une grande variété de données, mais des conditions d'acquisition délicates**
  - III-3-6 L'innovation : SEAS X Guyane**
- III-4 QUALIFICATION DES DONNEES ; CHOIX DU CAPTEUR ET PRISE EN COMPTE DES SPECIFICITES GUYANAISES**
  - III-4-1 Prise en compte de la résolution spatiale offerte par les capteurs**
  - III-4-2 Prise en compte des longueurs d'ondes**
  - III-4-3 Prise en compte de la résolution spectrale des capteurs**
  - III-4-4 Prise en compte de la répétitivité des capteurs**
  - III-4-5 Importance des missions « terrain »**
  - III-4-6 Prise en compte des spécificités de la réalité géographique guyanaise**
  - III-4-7 Le coût des données de télédétection**
- III-5 QUALIFICATION DES TRAITEMENTS (BOITE A OUTILS NON EXHAUSTIVE)**
  - III-5-1 Les pré-traitements**
  - III-5-2 Traitements de base : caractérisation des éléments d'occupation du sol**
  - III-5-3 Méthodes d'analyse spatiale appliquées à la détection des changements**
- III-6 LES CHAMPS D'APPLICATIONS RECENTS DE LA TELEDETECTION EN GUYANE : TOUR D'HORIZON ET AVANCEES METHODOLOGIQUES**
  - III-6-1 Introduction et recentrage théorique**
  - III-6-2 petit rappel historique**
  - III-6-3 Les principaux résultats obtenus:**
  - III-6-4 Comment aller plus loin ? la perspective d'un Observatoire**

## **IV- VERS UN OBSERVATOIRE D'OCCUPATION DU SOL**

### **IV-1 L'OUTIL « OBSERVATOIRE » ET SES OBJECTIFS**

**IV-1-1 Principe**

**IV-1-2 Objectif**

### **IV-2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT**

**IV-2-1 Schéma de principe général**

**IV-2-2 Données en amont (entrées)**

**IV-2-3 Produits escomptés (sorties)**

### **IV-3 LES GRANDES ETAPES DE LA MISE EN ŒUVRE**

**IV-3-1 Délimitation de la zone d'exploration : le territoire d'analyse**

**IV-3-2 Segmentation éventuelle de la zone d'exploration**

**IV-3-3 Spécifier l'objet de la recherche**

**IV-3-4 L'état initial de référence**

**IV-3-5 Mise en place d'un SIG et d'une base de données géoréférencées**

**IV-3-6 Elaboration des produits destinés aux décideurs, au grand public**

## **V- ILLUSTRATION SUR UN TERRAIN : DYNAMIQUES TERRITORIALES DANS L'OUEST GUYANE**

### **V-1 DYNAMIQUES ET RISQUES LIES A UN AMENAGEMENT ROUTIER EN ZONE FORESTIERE**

### **V-2 CE QUE PEUT APPORTER UN OUTIL TYPE OBSERVATOIRE DANS UN TEL CONTEXTE**

**V-2-1 Thématique télédétection & démographie :**

**V-2-2 Thématique télédétection, déforestation et problèmes fonciers**

**V-2-3 Thématique télédétection, modifications environnementales et santé**

**V-2-4 Thématique impacts des dynamiques territoriales (urbaines, rurales) sur la biodiversité**

### **V-3 LES DEFIS A RELEVER POUR LES GESTIONNAIRES DE L'ESPACE**

### **V-4 CONCLUSION & PERSPECTIVES**

*« La Guyane est comme un plat de petits pois baignant dans l'eau.  
Quelque direction qu'on choisisse, on rencontre toujours  
une montagne, une crique, une montagne, une crique ; et  
cette course ondulée renouvelle en cadence l'espoir de  
découvrir quelque chose de neuf, même quand six ans de  
Guyane vous ont enseigné l'immense monotonie des bois »*

*Jacques Perret - « Roucou »*

## Avant-Propos

Le travail ici exposé correspond à l'aboutissement d'une réflexion engagée il y a six mois à Toulouse sous l'impulsion de Mr. Jean-Charles FILLERON, Professeur des Universités et responsable du D.E.A. « Environnement et Paysage » du Département de Géographie de l'Université de Toulouse le Mirail. Qu'il soit ici remercié pour m'avoir conseillé de m'intéresser aux dynamiques territoriales en Guyane française de préférence aux fronts pionniers de l'Amazonie brésilienne. La Guyane est tout aussi passionnante...

Bien en amont, mes remerciements vont également à Mr Alain PAVE, directeur de l'Unité 2561 « CNRS Guyane » à laquelle j'appartiens. Il a en effet d'abord su comprendre que cette « formation par la recherche » à laquelle j'aspirais représentait beaucoup à mes yeux; ensuite il a su m'accorder sa confiance en m'autorisant à entreprendre cette formation, malgré les risques que représentait l'abordage d'une nouvelle discipline..

Sans lui, et sans le travail du Service de formation de la Délégation d'IVRY qui a su accompagner administrativement ma démarche, en particulier Mme Gwladys MAURE, rien n'aurait été possible, et je n'aurais jamais pu m'enrichir de tant de nouvelles connaissances tout au long de l'année écoulée, que ce soit en métropole ou en Guyane. Un très grand merci à ces trois personnes donc.

\*\*\*\*\*

Le présent mémoire, qui marque la fin de la formation entreprise en octobre 2004 à Toulouse, matérialise l'état actuel du travail que je me suis attaché à réaliser durant ces cinq derniers mois à Cayenne. Il eut pour cadre les locaux du « Laboratoire Régional de Télédétection » (L.R.T.) qui m'accueillit de mai à septembre 2005. Ce laboratoire, rattaché à l'Unité de Service « Espace » de l'I.R.D., dirigée par Mr Frédéric HUYNH, fait partie intégrante de l'Institut de Recherche pour le Développement de l'I.R.D. (ex ORSTOM) de Cayenne.

Je tiens à remercier tout particulièrement Mr. Laurent POLIDORI (Directeur de Recherches de l'U.S. « Espace » en poste à l'I.R.D. de Cayenne) qui assura la tâche ingrate de « tuteur » de stage, et bien au delà de co-directeur du travail de recherche engagé à Toulouse.

Je n'oublierai pas de remercier également tout le personnel de cette Unité grâce auquel ces quelques mois passés à Cayenne ont pu se dérouler dans un bon esprit (Jérôme BERNARD, Jean-François FAURE, Damien GALARRAGA, Christophe PROISY, Valéry GOND et bien sur Laurent POLIDORI).

Je remercie chaleureusement Mr Gilles SELLERON, du laboratoire GEODE de Toulouse, pour ses compétences en télédétection, sa bonne humeur et sa disponibilité. Je lui dois une première initiation à la technique de la « fusion d'images multi-capteurs / multi-dates » dans laquelle il est passé maître. J'associe à ces remerciements tout le personnel du laboratoire GEODE, son directeur Mr. Jean-Paul METAILLIE, Jean-Christian TULET qui s'est intéressé à mon sujet de recherche, tous les enseignants du D.E.A. ainsi que Emilie GIL et Hugues BARCET qui m'ont bien aidé, chacun dans leur domaine de compétence, à mener cette formation à son terme.

## **Introduction**

Dans les régions tropicales en général, l'acuité des besoins en termes de gestion de l'espace et d'aménagement du territoire se heurte souvent à l'insuffisance de données socio-économiques et environnementales régulièrement mises à jour, du fait d'une double carence : en ressources humaines d'abord (effectifs, compétences), en ressources budgétaires ensuite (équipements matériels et logiciels insuffisants, manque de données disponibles).

Le problème se pose différemment en Guyane française, ce département disposant depuis déjà un certain nombre d'années de la même organisation en matière de statistiques et d'études économiques, rurales et environnementales que la métropole (INSEE, DAF, DIREN,...). Les effectifs de ces divers organismes étant cependant limités eu égard à la superficie considérable des espaces placés sous leur responsabilité et à la méconnaissance partielle des phénomènes en cours, la télédétection aérienne puis spatiale est vite apparue comme un moyen incontournable de connaissance du territoire. C'est dans ce contexte qu'une nouvelle structure de recherche, le Laboratoire de Recherche en Télédétection de Cayenne (LRT), fut créée dès 1994 avec pour mission de développer des techniques et méthodologies en matière de traitement de données spatialisées adaptées au contexte guyanais.

Ces dernières années, le besoin en surveillance de l'environnement s'est considérablement accru en Guyane avec la forte augmentation de la pression foncière en zone rurale et le développement d'un important secteur informel dans les activités d'orpillage, accompagnés par l'extension désordonnée des zones urbaines de la bande littorale contraintes d'absorber l'explosion démographique qui a frappé le département dans les deux dernières décennies. Face à la conjonction de ces différents phénomènes, les pouvoirs publics sont apparus à plusieurs reprises comme étant débordés, contraints de gérer l'essentiel en accompagnant du mieux possible certaines situations de fait plutôt que de chercher à faire respecter règlements et directives en matière d'occupation du sol par exemple.

C'est dans un tel contexte que nous avons décidé, à l'occasion de ce stage de DEA de Géographie de l'Environnement de l'Université de Toulouse le Mirail, de nous intéresser aux dynamiques territoriales en cours sur le territoire guyanais, à leurs manifestations visibles sur le terrain, à certaines de leurs conséquences environnementales, et bien sûr à leurs acteurs.

A cet effet, après avoir rappelé en grandes lignes la Géographie et l'Histoire de ce département, nous avons analysé les causes et les manifestations de l'explosion démographique récente ; puis nous avons abordé le problème du statut du foncier en Guyane, en partie à l'origine d'une répartition spatiale des populations pour le moins surprenante (Chapitre I).

Dans un second chapitre, nous nous sommes livrés à une première approche des dynamiques démographiques actuelles dans leur expression territoriale, et décliné leurs conséquences fâcheuses en termes de pression sur le foncier dans des zones normalement protégées, d'atteinte à l'environnement, d'atteinte à la santé des populations. Nous avons mis en évidence le manque actuel d'un outil d'évaluation qui puisse apporter aux gestionnaires de l'espace une information actualisée sur l'état du territoire. Nous avons proposé l'outil « télédétection » et le concept « d'Observatoire ».

Le chapitre III est consacré à l'exposé d'un « état de l'art » en matière de télédétection (données, traitements) appliqué au contexte guyanais. Les méthodes d'évaluation des changements dans l'occupation du sol testées en Guyane, ainsi que les avancées méthodologiques réalisées dans différents domaines (déforestation, orpillage, écologie et santé, littoral, climat) sont abordées.

Le concept d'Observatoire est alors développé (chapitre IV) : principe, objectif, données en entrée, résultats escomptés ; les grandes étapes de la mise en œuvre sont décrites.

Dans le dernier chapitre (V), une illustration sur un territoire guyanais est proposée, le Nord-Ouest du département, soumis à de fortes dynamiques territoriales ces dernières années. Les thématiques jugées prioritaires sont abordées...

## I - LA GUYANE : SITUATION GENERALE ET PETIT HISTORIQUE

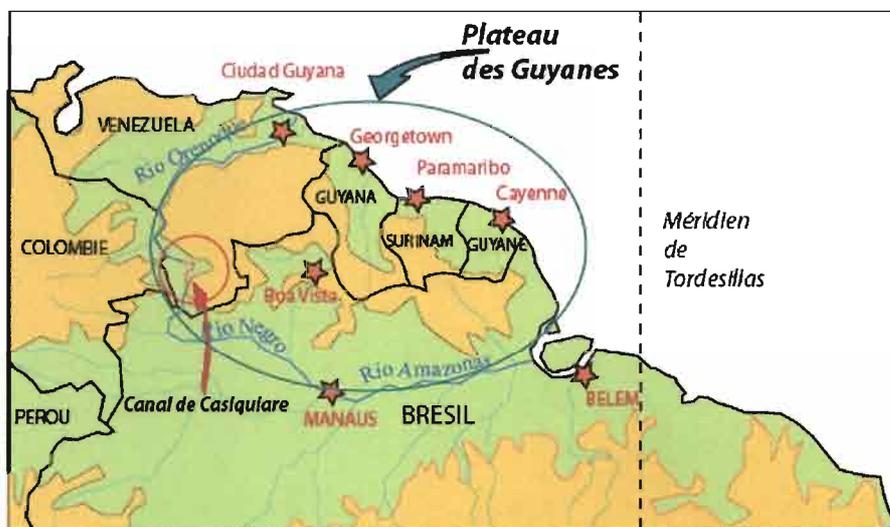
### I-1 DE « VIEILLES TERRES » FRANÇAISES EN AMERIQUE DU SUD...

#### I-1-1 Milieu physique :

##### I-1-1-1 Le « Plateau des Guyanes », composante originale de l'ensemble amazonien...

Vacuité spatiale laissée par les colonisations ibériques (car à cheval sur le méridien défini lors du Traité de Tordesillas<sup>1</sup> en 1494), la marge guyanaise est convoitée par les puissances émergentes de l'Europe du Nord-Ouest (Angleterre, France, Hollande). Après des fortunes diverses, les limites territoriales des possessions anglaises, hollandaises et françaises se stabilisent et les trois puissances y développent des modes divergents de colonisation (Piantoni, 2002). Le nom « Guyane » est d'origine amérindienne : *Guiana*, c'est « la terre sans nom », ou plutôt celle que, pour des raisons mystérieuses, « on ne peut nommer ». Il ne faut pas chercher plus loin pour trouver dans cette appellation l'une des origines du mythe de l'Eldorado, ce cacique mystérieux qui s'enduisait de paillettes d'or avant de s'immerger dans les eaux profondes du tout aussi mythique Lac Parime, qui figurera longtemps sur les cartes des voyageurs occidentaux.

L'unité des Guyanes dans l'ensemble sud-américain, à la fois géologique -de par un socle granitique commun- et historique est encore renforcée par son aspect insulaire (Lézy, 1998). Le canal de Casiquiare<sup>2</sup> à l'origine de cette insularité -qui rappelle celle de l'île de Cayenne dont nous parlerons plus loin- est une formation naturelle exceptionnelle. Il s'agit d'un canal reliant l'Orénoque à l'Amazone, via le rio Negro, faisant ainsi communiquer deux fleuves et deux bassins versants en franchissant la ligne de partage des eaux



Vue d'ensemble du Plateau des Guyanes et du Canal de Casiquiare : situé au Venezuela, long de plus de 200 km, il n'est au départ qu'un bras de l'Orénoque, qui rejoint le Rio Guainia pour former le rio Negro.

Au niveau géomorphologie, le plateau dans sa partie nord est une vaste pénéplaine, au pendage général Sud-Nord, avec des reliefs peu marqués, où s'opposent « Terres Hautes » de l'intérieur et de l'arrière littoral et « Terres Basses » sédimentaires du littoral. Le Climat de la région est sub-équatorial, et la végétation est marquée par la forte prédominance de la forêt dense équatoriale qui occupe la presque totalité de l'espace.

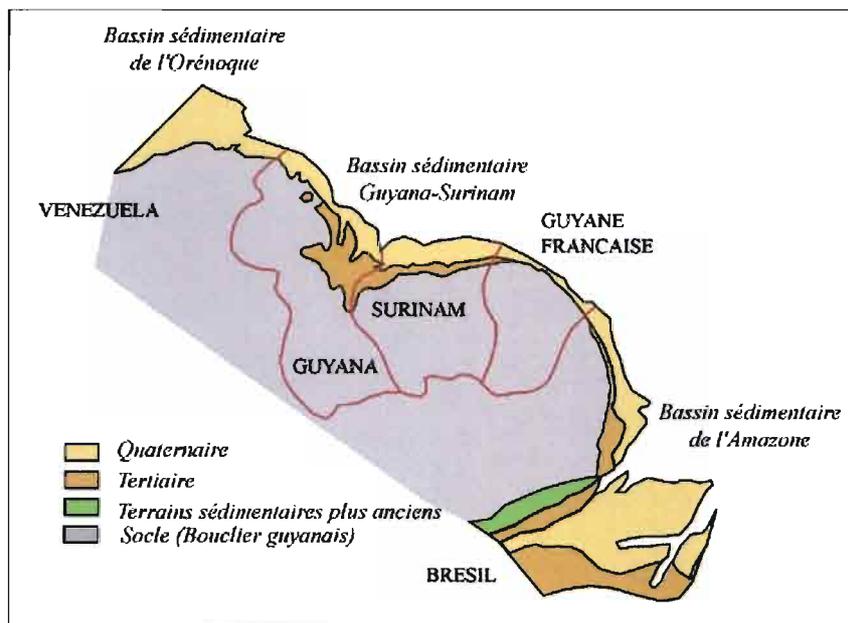
Les cinq Guyanes subissent les effets d'un puissant courant marin et ceux des fleuves (Amazone et fleuves côtiers) qui déversent une quantité très importante d'alluvions à leur embouchure. Une partie de ces alluvions se déplace au large en suspension, donnant un aspect trouble à l'océan. L'autre partie longe la côte sous forme de bancs de vase de 15 à 65 km de long qui se déplacent vers le nord-ouest à une vitesse moyenne de 1 km par an.

<sup>1</sup> un méridien nord-sud localisé à l'époque à 370 lieues (1770 km) à l'ouest des îles du Cap-Vert, ce qui le situerait à 46° 37' ouest

<sup>2</sup> Lope de Aguirre l'emprunte lors de sa mutinerie en 1561, peut être sans se douter de sa découverte. Certaines cartes géographiques le font apparaître au XVIII<sup>e</sup> siècle, La Condamine (entre autres) affirmant son existence. Humboldt le remonte en 1800 et en fait une description précise.

### I-1-1-2 La Guyane française :

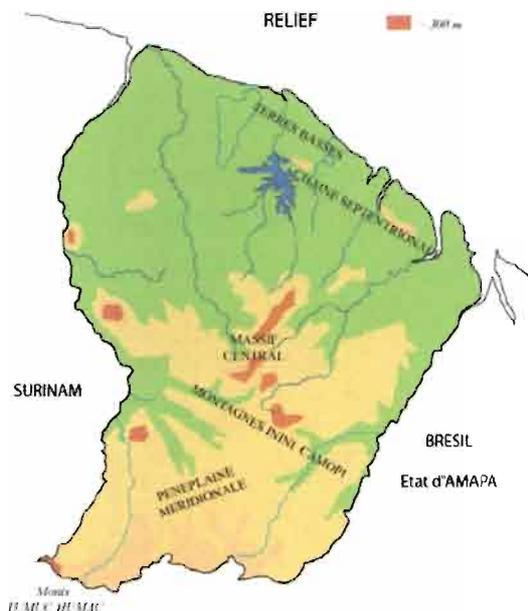
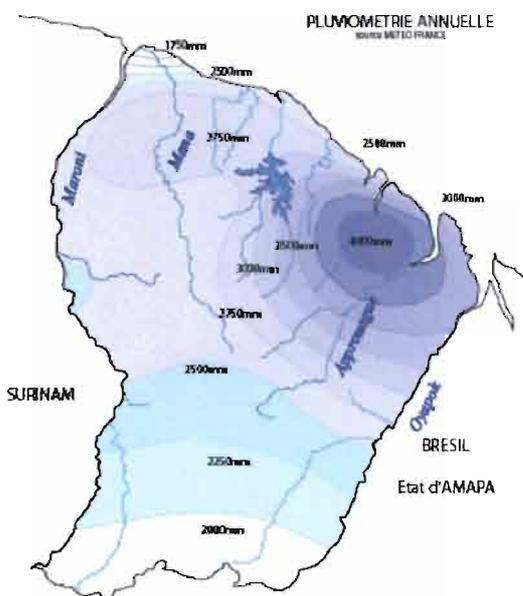
Le territoire de la Guyane a une superficie d'environ 84.000 km<sup>2</sup>. Les « terres basses », constituées de la plaine littorale, qui oscille entre 5 et 40 km de large, avec une altitude souvent inférieure à 30 mètres, sont réputées pour leur richesse, car constituées d'alluvions marines ; elles sont très peu développées en Guyane en comparaison des Etats voisins. Cette malchance est due au soulèvement du socle situé entre deux importants bassins sédimentaires, propre au phénomène de subsidence. (Paralieu, 1991).



Situation de la Guyane française par rapport aux bassins sédimentaires qui bordent le bouclier Guyanais (d'après R. Boulet, 1988)

Les "terres hautes" constituent une zone immense couverte par la forêt amazonienne. Elles comprennent quatre ensembles : les collines et chaînons de la chaîne septentrionale ; le massif central qui culmine à 400 mètres ; les montagnes Inini-Camopi qui atteignent 850 mètres ; la péninsule méridionale qui couvre 1/5 du territoire. Des reliefs insolites de roches à nu, appelés inselbergs, émergent dans l'est et le sud de la Guyane. Pour une description fine des reliefs et modelés guyanais, on se référera à FILLERON (2003).

Le réseau hydrographique est extrêmement dense et chevelu composé de dizaines de fleuves, rivières et criques comportant de nombreux sauts. La Guyane compte quatre grands fleuves dont le plus important est le fleuve Maroni (520 km), suivi par le fleuve Oyapock, la Mana et l'Approuague.



Le département est compris entre 2 et 6° de latitude Nord et entre 52 et 54° de longitude Ouest. Nous sommes en zone de climat équatorial en théorie, mais ici on préfère qualifier le climat de sub-équatorial car il ne pleut pas toute l'année. Le pays connaît quatre saisons selon les fluctuations de la zone intertropicale de convergence. Le taux d'humidité peut atteindre les 100%, mais l'alizé du Sud-Est rend heureusement l'atmosphère tout à fait supportable. Le Nord-Est du département est la région la plus arrosée (entre 3000 et 4000 mm d'eau par an au niveau des marais de Kaw) ; le Nord-Ouest et le Sud reçoivent moitié moins d'eau.

## I-1-2 l'Histoire :

### I-1-2-1 *Au commencement était la Guyane amérindienne :*



Les premiers habitants du Nord de l'Amérique du Sud (paléo-indiens) étaient des chasseurs de méga-faune dans le Vénézuéla occidental, à l'ouest du Plateau des Guyanes. Ils appartiennent à la culture El Jobo, datée entre 14.000 et 12.000 B.P. (A. H. Versteeg, 1999). Diverses données indiquent que, il y a dix mille ans, se serait développée une phase climatique relativement sèche, caractérisée par des savanes plus ou moins ininterrompues entre la région côtière du Venezuela oriental et le Sud du Guyana, le Surinam et la Guyane. Au fil des siècles, ces populations occupèrent tout l'espace, du littoral à la forêt profonde, en passant par les rives des fleuves et les savanes ; outre la chasse, elles pratiquèrent successivement la collecte de

coquillages sur le littoral et l'agriculture de manioc et de maïs sur des champs artificiels surélevés et drainés dans les marécages. A l'arrivée des premiers conquistadors, on estime leur nombre à 400.000 individus, dont 30 à 40.000 sur le territoire de l'actuelle Guyane française.

### I-1-2-2 *La Guyane coloniale : une Histoire mouvementée ; un peuplement laborieux*

✓ *La conquête des Guyanes, en marge des empires ibériques, fut donc tardive :*

Anglais, Hollandais, Français et Portugais se disputent la région durant toute la durée du XVI<sup>e</sup> siècle avant de s'installer de manière durable. 1604 voit la première tentative de colonisation française en terre de Guyane sur la rivière Sinnamary. En 1643 la ville de Cayenne est fondée et en 1651 est créée la « Compagnie de la France équinoxiale ou de Cayenne » dont les tentatives de peuplement échouent, à tel point que L'Île de Cayenne est désertée. Occupée un temps par des juifs hollandais, elle est récupérée par la France sous l'impulsion de Colbert qui crée en 1664 la « Compagnie française des Indes Occidentales ». La Guyane se développe, aidée en cela par l'installation des Jésuites (« Compagnie de Jésus ») qui avaient comme charge principale l'évangélisation des indigènes. Leur politique de « réduction » (regroupement) va entraîner une hécatombe dans les rangs des amérindiens (Galibis) du fait du « choc microbien », à tel point que, un siècle plus tard, ces derniers ne seront plus que quelques centaines (les Wayanas préférant s'isoler en forêt profonde). L'arrêt des hostilités entre les quatre nations européennes va entraîner la stabilisation des frontières, et le développement de l'agriculture coloniale : coton, rocou, canne, cacao, café, vanille, girofle, poivre, indigo, caoutchouc, tabac... aidé en cela par l'instauration de la traite négrière.

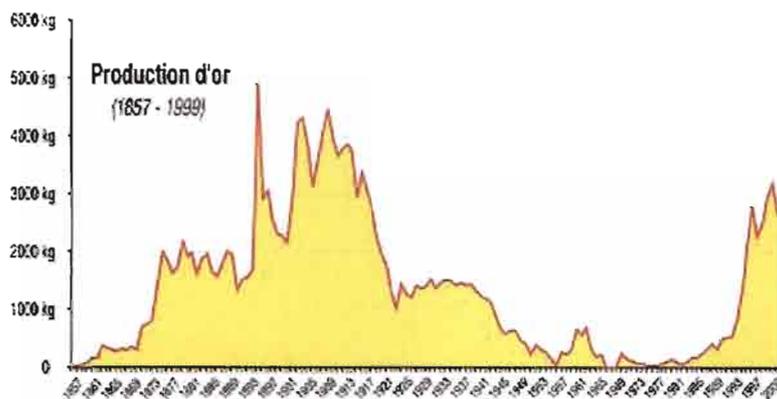
✓ *Colonie agricole, puis colonie minière et pénitentiaire :*

Au Surinam, la population servile est très tôt beaucoup plus importante qu'en Guyane ; un marronnage<sup>3</sup> massif se développe dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, désorganisant les plantations par des razzias à tel point que les Hollandais sont obligés de traiter avec les rebelles (Saramakas, Djukas) leur concédant des territoires en échange de leur aide – pas toujours très active- pour la traque d'éventuels nouveaux fuyards (ce qui ne manqua pas). Ainsi, au fil des années, d'importantes communautés Bushinenge s'installent sur le Maroni (Djukas, Bonis). La Guyane reste en marge de ce phénomène, qu'elle ne connaîtra que plus tard (au XIX<sup>e</sup> siècle, après le rétablissement de l'esclavage). Après le traité d'Utrecht (1763) qui ne laisse à la France

<sup>3</sup> Marronner ou « aller marrons » : se dit des esclaves qui quittaient les plantations pour se soustraire aux conditions ignominieuses de l'esclavage.



- ✓ En 1930, la création du « Territoire de l'Inini » correspond à une mainmise directe du pouvoir national –et non colonial local- sur le Sud de la Guyane (90% du territoire, 30% de la population). Elle coupe le territoire en deux, reconnaissant de fait l'autonomie des populations tribales.



Sources : J. Petrol, 1983 - DRIRE, 1999

Peu après la fin de la seconde Guerre Mondiale (1946), la départementalisation, à laquelle succèdera la fermeture du bagne en 1953, vont entraîner le département vers la sortie de la crise démo-économique qui le touche depuis un demi-siècle.

**La production officielle d'or de 1857 à nos jours selon la DRIRE.** Source : Atlas illustré de la Guyane (2001)

### I-1-2-3 *Le département de la Guyane : décolonisation par incorporation*

*Un essor lent tout d'abord puis fulgurant à la suite de l'implantation du CSG : la Guyane décolle. En parallèle, rattrapage institutionnel, politique de francisation, début de développement et de désenclavement du territoire.*

**1946** : 25.000 habitants seulement !! décision de départementalisation, accompagnée par la mise en place de nouveaux services et infrastructures dont, à partir de 1954, le développement d'un dispositif sanitaire de type métropolitain avec application des dispositions légales en matière de vaccination, prévention, lutte contre la mortalité infantile. La courbe d'évolution démographique s'inverse (1961 : 33.000 habitants). En 15 ans, la Guyane a retrouvé son niveau de population du début du siècle et un nouveau cadre institutionnel ...

**1968** : la départementalisation totale de la Guyane avec la création des communes de l'intérieur marque la fin du « statut spécial » des populations tribales. Un mouvement de francisation de masse à destination des Amérindiens et Bushinenges est instauré par les autorités. Certaines populations, comme les Wayanas, refusent un concept de citoyenneté vide de sens. En 1971, la parution d'un arrêté préfectoral limite l'accès au Sud du département (recréation de fait du « Territoire de l'Inini », avec une étendue moindre).

**A partir de 1965**, l'implantation du *centre spatial guyanais* à Kourou et son développement vont drainer une importante main d'œuvre (notamment d'origine colombienne, boni et amérindienne) qui sera employée à la construction de la base spatiale et des logements des ingénieurs et techniciens métropolitains nécessaires à son fonctionnement; « l'Espace » va modifier en profondeur le territoire : expropriation des nombreux petits agriculteurs créoles de la « zone des savannes » entre Kourou et Sinnamary, création des villages amérindien et boni-saramaka de Kourou. De grands travaux sont lancés (port en eaux profondes, ponts, routes, hôpital) ; l'aéroport Rochambeau est modernisé. La première vague migratoire des années 70 (métropolitains, brésiliens, saramakas, haïtiens) sera relayée par une seconde vague quinze ans plus tard.

**1975 : Plan Vert** : ce plan, lancé à grands renforts médiatiques, visait à créer de toutes pièces de nouveaux systèmes de production spécialisés et fixés avec lesquels on voulait « moderniser » l'agriculture guyanaise par le développement de l'élevage bovin semi-intensif sur prairies installées et de l'arboriculture fruitière (lime mexicaine essentiellement). Les résultats furent très mitigés, voire désastreux. Quelques métropolitains s'installent à grands frais, pendant que les autres formes d'agriculture, pourtant majoritaires, sont ignorées (VISSAC, 1992). Parallèlement, des migrations importantes sont organisées, dont celle de réunionnais près de Macouria (éleveurs de la Carapa) par le BUMIDOM<sup>5</sup> et une importante communauté Hmong est accueillie à Cacao, puis à Javouey dans l'Est.

**Années 80** : décennie des grands chantiers : barrage de Petit-Saut, hôpital de Cayenne, écoles, lycées, routes, ponts: la Guyane décolle, c'est l'effervescence : premiers embouteillages à Cayenne !!

**1986 – 90 : guerre civile au Surinam** : immigration massive dans l'Ouest Guyane qui s'érige de fait en troisième pôle de développement (le bassin du Maroni) champion de l'économie informelle. Développement spectaculaire de l'agriculture de défriche. La frontière est provisoirement déplacée à Iracoubo, où un contrôle strict du trafic routier venant de l'Ouest est mis en place par l'armée française.

<sup>5</sup> Bureau pour le développement des Migrations intéressant les Départements d'Outre-Mer.

**Années 90** : arrêt brutal des grands travaux, crise du secteur public sur endetté, la précarité revient. La fin des années 90 voit le réaménagement puis la crise du secteur spatial (arrêt Ariane 4, ratés Ariane 5). La stabilisation des finances publiques entraîne une timide reprise, secouée par les émeutes de la jeunesse de Cayenne qui vont déboucher sur la promesse de montage d'une Université (PUG). A l'intérieur du pays on assiste au développement de l'orpaillage clandestin dans la foulée de l'octroi de concessions à des multinationales nord-américaines : 10 tonnes d'or seraient extraites chaque année . Des milliers d'orpaillers brésiliens travaillant en marge des concessions officielles portent gravement atteinte à l'environnement: destruction de sites, pollution au mercure, misère et violences extrêmes (banditisme, crimes).

**Années 2000** : Politique de désenclavement régional du territoire : ouverture vers le Brésil (mise en service de la route Régina – St-Georges dite « Route de l'Est ») et désenclavement du bassin de peuplement du Maroni par la mise en chantier du premier tronçon de la future liaison routière St-Laurent-du-Maroni - Maripasoula jusqu'en amont d'Apatou (Saut Hermina). Timide reprise du secteur spatial à Kourou (certification du lanceur « Ariane 5 dix tonnes », construction des pas de tirs Soyouz et Vega). La progression démographique faiblit à peine (le cap des 200.000 habitants devrait être franchi –officiellement- en 2005). Des milliers de jeunes guyanais sont sans emploi et des milliers d'immigrés (haïtiens, surinamais) vivent à la recherche de « jobs ». La situation n'étant guère meilleure dans les Etats voisins (Surinam, Amapa, Guyana), la population s'accommode de l'existant, en essayant d'en tirer le meilleur parti (développement du secteur informel, *squatterisation* du territoire).

## I-2 UNE ENTITE ORIGINALE EN COURS D'INTEGRATION A L'ESPACE HUMAIN AMAZONIEN

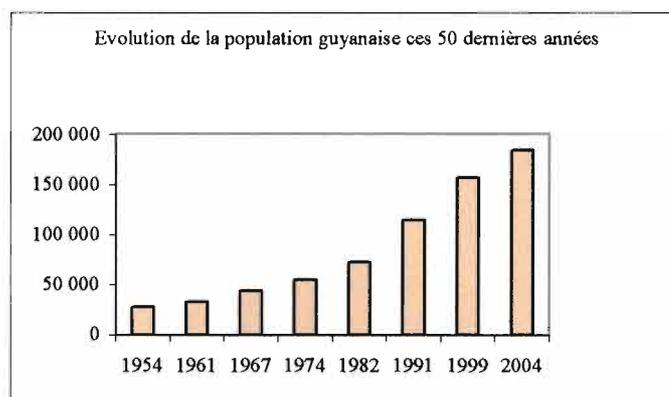
### I-2-1 l'explosion démographique : le phénomène et ses causes

La conjonction de plusieurs évènements dans un court laps de temps, à savoir d'une part la réussite de l'implantation du « Centre Spatial Guyanais » à Kourou -qui constitue l'un des piliers de l'activité économique du département-, puis la guerre du Surinam - par les importants flux migratoires qu'elle a générés à partir de la fin des années 80- et le redémarrage de l'activité aurifère ont brutalement accéléré la sortie de la léthargie dans laquelle le département semblait avoir sombré depuis la fermeture du bagne dans le courant des années 50. La création du CSG et le développement du littoral qui l'a accompagné ont généré une **très forte attraction** de la Guyane française sur ses voisines (Surinam, Guyana, Amapa) et au delà jusqu'à Belém (Etat du Para), le pays apparaissant comme un nouvel Eldorado où règne la sécurité, et où l'on peut bénéficier d'un haut niveau de salaire (à l'aune bien évidemment de ce que peut être le salaire minimum dans ces pays) et de protection sociale sans parler des possibilités d'accès gratuit à l'éducation pour les enfants et à la santé (Gachet, 1996).

Nous n'en voulons pour preuve que l'évolution démographique de ces trente dernières années, qui reflète la forte attractivité du département sur les territoires continentaux voisins, et au delà le monde caribéen :

- 1974 : 55.000 habitants
- 1982 : 73.000 habitants
- 1991 : 114.000 habitants
- 1999 : 157.213 habitants
- 2004 : 184.451 habitants

(chiffre INSEE, probablement sous-estimé)



En trente ans, la population du département a donc plus que triplé (rapport de 3.35), ce qui correspond à deux phénomènes essentiels :

- un solde migratoire particulièrement élevé dans la période considérée ;
  - un taux de fécondité très élevé, notamment parmi les migrants, en particulier Noirs Marrons et Haïtiens.
- Ces données correspondent à un indice conjoncturel de fécondité<sup>6</sup> de 3,5 enfants par femme.

<sup>6</sup> Ou nombre moyen d'enfants par femme : c'est la somme des taux de fécondité par âge observés une année donnée, ou le nombre d'enfants qu'aurait une femme toute sa vie, si les taux de fécondité observés l'année considérée à chaque âge demeuraient inchangés.

Nationalités	1974		1982		1990		1999	
	effectifs	%	effectifs	%	effectifs	%	effectifs	%
brésilienne	1559	33,16%	3123	18,51%	5962	15,99%	7171	15,40%
haïtienne	479	10,19%	5287	31,34%	9263	24,84%	14143	30,37%
surinamaïse	1237	26,31%	2453	14,54%	13762	36,91%	17654	37,90%
Toutes étrangères	4702	100,00%	16868	100,00%	37286	100,00%	46576	100,00%

Source : Piantoni (2002)<sup>7</sup>, d'après des données de l'INSEE : RGP 1974, 1982 ; 1990, 1999

## I-2-2 une population mal répartie sur un territoire pourtant vaste :

### I-2-2-1 Une bande littorale localement surpeuplée ...

La très grosse majorité (80 %) de la population guyanaise se « presse » sur la bande littorale, et particulièrement dans l'Île de Cayenne qui atteint des densités très importantes (370 habitants au km<sup>2</sup>) et regroupe (Cayenne, Matoury et Rémire-Montjoly) plus de la moitié de la population du département.

Deux autres bassins de peuplement se démarquent : Kourou –la ville spatiale- et ses 25.000 habitants au centre du littoral, Saint-Laurent à l'Ouest avec une population du même ordre.

Plusieurs autres communes sont en forte croissance : Macouria et Mana, toutes deux à vocation agricole, l'une à proximité immédiate de l'Île de Cayenne (une vingtaine de kilomètres), l'autre à une distance équivalente de la ville de St-Laurent-du-Maroni, pôle émergent de développement de l'Ouest Guyane (un port en eaux profondes et une zone franche sont à l'étude depuis des années, de même qu'un pont international vers le Surinam au dessus du fleuve Maroni). Depuis la guerre du Surinam, cette ville est devenue la véritable capitale du « monde marron » transfrontalier.

A l'extrême Est, Saint-Georges de l'Oyapock, reliée depuis peu à Cayenne et au reste du département par la « route de l'Est » (ouverte en 2002), attend patiemment elle aussi la construction du pont international qui, enjambant le fleuve Oyapock, la reliera à l'Etat brésilien d'Amapa, et au delà à Belém, capitale de l'Amazonie brésilienne et porte ouverte vers le Sud du pays.

**Kourou, l'enclave spatiale:** La ville de Kourou, engoncée entre le fleuve, le littoral, le domaine réservé du CSG et une savane inondée, dispose dorénavant de peu d'espace pour son extension future. Selon la Mairie, elle compterait d'ores et déjà 25.000 habitants (chiffre de 2005 basé sur le résultat de recensements partiels) et devrait atteindre les 50.000 habitants avant 2030. L'équipe municipale envisage d'ouvrir de nouveaux quartiers sur la route de Sinnamary, loin du « Vieux Bourg » (ancien village de pêcheurs) et des quartiers périphériques actuels. La ville apparaît comme une juxtaposition de villages –ou quartiers- (créole, amérindien, saramaka, brésilien, métropolitain, haïtien) cloisonnés. Le CSG quant à lui étend ses installations vers l'ouest de son territoire<sup>8</sup> : de nouveaux équipements –pas de tir « Soyouz »- sortent de terre près de Sinnamary, ce qui devrait faire bénéficier cette bourgade en perte de vitesse de quelques « retombées ».

### I-2-2-2 ... s'oppose à un intérieur dépeuplé, mais parcouru de longue date

L'intérieur du pays est très peu peuplé, et la densité y est donc très faible. Seuls quelques sites d'orpaillage regroupant parfois des centaines –voire des milliers- d'orpailleurs clandestins rompent l'immense monotonie des « Grand bois », avec les vestiges d'implantations aurifères d'un autre temps (comme Saül) parfois réactivés (St Elie). Les amérindiens sont rejetés en marge, le long des fleuves frontaliers (Oyapock : Camopi, Trois Sauts ; Maroni : Twenké, Antécume Pata, ...). Le projet de Parc National (Parc du Sud) n'en finit pas d'être relancé, mais piétine faute essentiellement d'une prise de position claire sur le problème de l'orpaillage et de l'appui des élus locaux. L'écotourisme ne dépasse guère l'arrière littoral, l'accès à l'intérieur du pays étant réglementé (autorisation préfectorale préalable).

L'intérieur est le domaine des orpailleurs, des scientifiques (comme le dispositif des Nouragues, du CNRS) et des forces armées (légion étrangère, armée, gardes mobiles des opérations « Anaconda ») qui défraient régulièrement la chronique. Les recherches entreprises pour évaluer les risques sanitaires encourus

<sup>7</sup> Selon les fichiers du consulat de Haïti à Cayenne, les effectifs enregistré s'élèvent à 30.000 en 1997, dont 8.000 sont en situation administrative régulière. Par comparaison, l'INSEE donne un chiffre de 14.143 individus en 1999.

<sup>8</sup> D'une superficie de 850 km<sup>2</sup> (soit 1% du territoire) correspondant aux 50 km de frange littorale reliant Kourou à Sinnamary, cette région de savanes figurait auparavant parmi les meilleurs terres à vocation agricole du département.

par les populations amérindiennes exposées à la contamination au mercure (dont on trouve des concentrations très élevées dans les poissons carnassiers qu'elles consomment traditionnellement) ont montré des résultats inquiétants. Pourtant rien n'est fait en profondeur pour éradiquer l'orpaillage en dehors de quelques opérations spectaculaires destinées à tranquilliser des opinions publiques désormais alertées. Le pillage des ressources et la pollution des criques, loin de faiblir, s'accroissent et le laisser-faire des autorités de l'Etat est de plus en plus difficile à comprendre, les deux tiers de la production (estimée à 12 tonnes / an) s'évaporant dans la nature tout comme les vapeurs de mercure, alors que des assassinats sont perpétrés à l'intérieur du pays dans la plus totale impunité. Des réseaux structurés d'approvisionnement (comme celui de la crique Sikini sur l'Oyapock en aval de Camopi), amènent des tonnes de marchandises et de matériels divers (pelles mécaniques, motopompes, poisson séché) jusqu'aux fins-fonds de la forêt guyanaise sous les yeux des gendarmes pour alimenter des sites d'orpaillage qui n'ont de « clandestin » que le nom. Il ne fait aucun doute que les investisseurs, inconnus du grand public, jouissent de complicités au plus haut niveau.

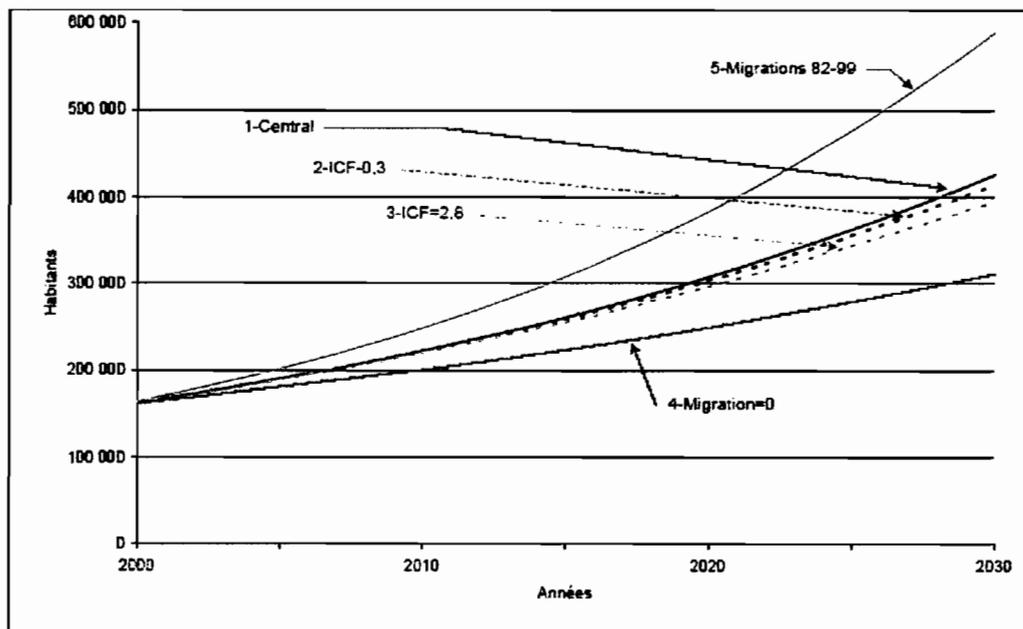
### *I-2-2-3 Le bassin de peuplement du Maroni*

Les rives du fleuve Maroni sont depuis plus de deux siècles les terres d'élection des Noirs Marrons. Plusieurs ethnies se répartissent le long du fleuve, chacune dans un territoire qui lui est propre, en général enclavé entre deux « sauts<sup>9</sup> ». Le premier de ces verrous, Saut Hermina, qui marque la limite sud de l'un des territoires historiques des Bonis est en train de sauter, avec la mise en service prochaine de la liaison Saint-Laurent-Apatou. Apatou (Bonis), Grand Santi (Djukas), Papaïchton (Bonis), Maripasoula (peuplement mixte) sont des bourgades de plusieurs milliers d'habitants. Le bassin de peuplement du Maroni, Saint-Laurent compris dépasse allègrement les 50.000 habitants (25% de la population globale). Les terres amérindiennes sont situées en amont (au nord de Maripasoula) et en aval (Awala-Yalimapo), à l'embouchure des fleuves Maroni et Mana.

### *I-2-2-4 Les projections à moyen terme*

Se basant sur les chiffres de la période 1982-1999, l'INSEE a établi différentes projections de population à l'horizon 2030 en se basant sur cinq scénarios.

Quel que soit le scénario mis en œuvre, la population guyanaise croît très fortement à l'horizon 2030. Même le scénario le plus restrictif aboutit à un quasi-doublement de cette population, si bien qu'il est raisonnable de penser que la population devrait dépasser 400.000 habitants en 2030, c'est à dire comparable à celle de l'actuel Surinam (490.000 habitants en 2005). L'hypothèse « haute » prédit 600.000 habitants !



Evolution des courbes de population selon cinq scénarios (source : INSEE)

<sup>9</sup> Rupture de pente sur un cours d'eau, matérialisée par des rapides parfois difficilement franchissables : nécessité de « portage », c'est à dire de débarquement des marchandises et des passagers contraints d'emprunter un chemin de halage.

### **I-3 UNE PRESSION QUI S'ACCROIT, MAIS PEU DE SOLUTIONS PROPOSEES**

#### **I-3-1 Un statut du foncier très particulier ...**

En Guyane, la quasi-totalité (92%) du département appartient au domaine privé de l'Etat. La problématique foncière introduit une confrontation entre des sociétés dont la gestion coutumière est collective et une législation nationale fondée sur la notion de propriété privée (Piantoni, 2002) d'une part, et d'autre part elle complique les mécanismes d'accès au foncier, que ce soit pour les collectivités locales, les particuliers, et les exploitants agricoles (ou ceux, nombreux, qui souhaiteraient le devenir, dans un contexte économique difficile où la pluriactivité apparaît comme une planche de salut). Le fort décalage existant entre les institutions en place (Collectivités régionales d'une part, créolisées dans une très large majorité ; services de l'Etat –Préfecture- d'autre part, émanation directe de la métropole) et leur méfiance réciproque ne sont pas faits pour faciliter la concertation et l'émergence d'un consensus dans un domaine aussi sensible que peut l'être la gestion du foncier en Guyane.

Entre la gestion coloniale de l'espace, puis la gestion « à la bonne franquette » qui lui succéda durant le long intermède que connut le pays et la mise en place du cadastre, qui débuta seulement en 1970, il y a un retard énorme par rapport à la métropole. Pour un responsable du service du cadastre, la situation en Guyane est comparable à celle de la France en 1820, informatique en plus. Néanmoins de gros efforts sont faits pour mettre toutes les données à jour. Actuellement, la surface cadastrée totale est de l'ordre de 3000 km<sup>2</sup> (information transmise par le service du cadastre en septembre 2005).

#### **I-3-2 ... qui génère la pénurie des terres.**

Pour ce qui est de l'espace rural, les paysages agraires de la Guyane se répartissent en deux catégories : d'une part, les paysages d'agriculture dite moderne, résultant essentiellement de la riziculture et de l'élevage bovin, d'autre part les paysages d'abattis, résultant de la pratique de l'agriculture traditionnelle itinérante sur brûlis. La surface agricole utilisée a triplé au cours de ces 20 dernières années, passant de 7.314 ha en 1980 à 23.176 ha en 2000 (Statistiques RGA DAF). Les abattis représentent 90% des exploitations et 36% de la surface, contre 25% en 1980. 67% du nombre d'exploitations ne sont pas immatriculées au registre des domaines, soit 28% de la S.A.U. Pourtant, bien qu'une infime partie du territoire soit occupée, on parle de plus en plus de « *pénurie de terres* », les procédures d'attribution de nouvelles terres pour les demandeurs, quels qu'ils soient, étant longues et compliquées. C'est l'un des paradoxes guyanais.

#### **I-3-3 Des mécanismes d'accès lents et opaques...**

Toute nouvelle demande d'attribution de terres doit passer par le « guichet unique » mis en place au niveau de l'EPAG (Etablissement Public d'Aménagement en Guyane) qui instruit les dossiers. Trois mille demandes d'attribution foncière portant sur 49.700 ha ont été enregistrées et sont en cours d'instruction, soit le double de la S.A.U. actuelle (situation en 1999, d'après l'EPAG), dont les deux tiers sur la « Grande Île de Cayenne ». L'attente est souvent longue, voire très longue, et les programmes d'aménagement rares, si bien que les occupations illégales de terres se multiplient (commune de Macouria principalement, mais aussi Montsinéry-Tonnegrande, Roura). Les installations sans titre de propriété à visée résidentielle, où un vague « projet agricole » sert d'alibi dans l'attente d'une régularisation hypothétique, sont légion.

Les problèmes de succession sur baux emphytéotiques étant d'autre part souvent difficiles à régler, du fait de l'expatriation de nombreux guyanais en métropole, cela ajoute à la confusion et au sentiment d'impuissance voire d'injustice qui règne, car côté administration, l'attentisme prévaut... les autorités semblant vouloir jouer la carte du « statu quo ». Cette position est pour l'instant d'autant plus facile à défendre que la problématique « développement régional » / « conservation de l'environnement » est particulièrement présente en Guyane, relayée en cela par des organismes internationaux comme le WWF ou la « Guyana Shied Initiative » et un grand nombre d'associations de protection de la nature, tous très actifs.

#### **I-3-4 ... qui perpétuent la précarité des installations humaines**

L'attentisme côté institutionnel et la pression démographique expliquent que les initiatives personnelles ou collectives d'occupation illégale de l'espace se multiplient. Les installations sont d'autant plus aisées que le contrôle social sur l'accès au foncier est relativement faible : le mitage de certaines parties du territoire, difficile à évaluer faute d'un outil approprié de surveillance, est en cours. Revers de la médaille cependant pour ces « pionniers clandestins », les risques d'expulsion ou de restitution partielle des parcelles occupées de manière illégale n'étant pas nuls et les procédures de régularisation pas forcément susceptibles

d'aboutir, les investissements réalisés le sont au minima ce qui explique l'aspect précaire de la plupart des installations « sauvages » en milieu rural.

Néanmoins, l'ordonnance n° 98-777 du 2 septembre 1998 a étendu les modalités de cession à titre gratuit de parcelles du domaine privé de l'Etat aux agriculteurs qui, depuis leur installation, antérieure à la date de publication de la dite ordonnance et pendant une période d'au moins cinq ans, ont réalisé l'aménagement et la mise en valeur des terres mises à leur disposition par l'Etat, les ont exploitées directement à des fins exclusivement agricoles et qui s'engagent à les maintenir à cet usage pendant trente ans à compter de la date de transfert de propriété. Cette ordonnance améliore donc la juridiction en cours, mais ne préjuge en rien le statut à venir des terres occupées au delà de la date de sa parution.

### **I-3-5 Des évolutions territoriales difficiles à évaluer (et à prédire)**

L'un des gros problèmes du département tient au fait que, malgré un fort taux de chômage officiel, le nombre des candidats à « l'Eldorado guyanais » ne faiblit pas vraiment (l'émigration brésilienne de l'Amapá restant notamment très forte dans les villes du littoral où le bâtiment va bon train). Il faut chercher la résolution de cette énigme dans le fort développement de l'économie informelle en Guyane, nombre de « jobeurs » restant inscrits sur les listes de l'ANPE. Ainsi, même si le département a bien perdu de son lustre d'antan, celui de la période de « l'épopée spatiale » des années 80, il n'en demeure pas moins toujours attractif pour des populations caribéennes ou nord-amazoniennes vivant très en deça du seuil de pauvreté et qui continuent donc à venir y tenter leur chance, grossissant les rangs des générations précédemment installées. Les perspectives de développement du pays semblent cependant incapables d'absorber à l'infini ce flot continu de migrants, et des mécanismes de régulation seront forcément à mettre en place un jour, sous peine que des phénomènes de rejet ne se manifestent dans la population créole (comme c'est déjà le cas dans certains quartiers de Cayenne) ou des milices auto-constituées délogent les squatters.

Dans ces conditions, et faute d'une politique foncière de peuplement et d'occupation de l'espace plus ouvertement ambitieuse comme cela a été (et demeure encore) le cas au Brésil, qui pourrait consister par exemple en un aménagement concerté d'une partie de l'arrière littoral, les trois bassins de peuplement actuels que constituent l'Île de Cayenne, le bassin du Maroni et dans une moindre mesure Kourou semblent destinés à absorber dans les années à venir la majeure part de la croissance démographique annoncée, d'autant que, en forêt profonde, la recrudescence de la criminalité, dont l'origine est à chercher du côté de la « vie dure » menée par la puissance publique aux orpailleurs clandestins n'est pas faite pour favoriser le développement d'activités du type « écotourisme » dans un arrière pays de moins en moins sûr. Cette activité pourrait pourtant constituer un axe de développement générateur d'emplois de qualité et de croissance économique comme c'est le cas dans d'autres pays tropicaux.

Compte tenu de l'extension prévisible somme toute limitée de la ville spatiale (estimée au plus à 50.000 habitants en 2030), la pression sur l'espace devrait à l'horizon 2030 se concentrer essentiellement sur la grande Île de Cayenne -qui devrait dépasser allègrement les 200.000 habitants- et sur le bassin du Maroni - qui devrait lui atteindre les 150.000 habitants- région dans laquelle la mise en service de l'axe routier Apatou-Maripasoula devrait contribuer à fixer la majorité des populations Bushinengue sur les berges françaises du fleuve Maroni. Les communes de Roura et de Montsinéry qui constituent la ceinture éloignée de l'agglomération de Cayenne devraient voir leur double vocation résidentielle/agricole renforcée, tandis que Macouria devrait elle tirer parti de sa position centrale sur l'axe Cayenne-Kourou (petits établissements industriels, agroindustries, comme c'est déjà le cas à Soula ou à la Carapa). Le devenir de l'axe Régina-Saint-Georges, récemment ouvert, dont les massifs forestiers riverains sont en cours d'aménagement par l'ONF constitue pour l'instant un vrai point d'interrogation. Cependant, la difficile quantification de la population à l'horizon 2030 (p. 11) empêche de se faire une idée précise des évolutions territoriales à venir.

Tout se passe comme si, après avoir couru pendant des siècles derrière « des bras » afin d'assurer son développement la Guyane se trouvait subitement avec une abondance humaine dont elle n'a pas cherché à se doter, et qu'elle a du mal à gérer. Nous n'en voulons pour preuve que l'insistance avec laquelle les PPDS<sup>10</sup> ont été incitées à regagner le Surinam à la fin des hostilités, ou l'énergie -et les moyens financiers- déployés pour expulser manu militari les milliers de clandestins « sans papier » interceptés chaque année et reconduits à la frontière<sup>11</sup>. Face à une telle croissance démographique, les risques d'emballement social ne sont pas négligeables, l'explosion de la jeunesse constituant un risque majeur, comme l'ont prouvé les récentes émeutes de 1996 à Cayenne. Le manque de perspective est en effet flagrant pour de larges pans de la population, le secteur informel étant progressivement en train de se saturer. L'avenir de la Guyane dépendra de l'équilibrage à construire entre les différentes composantes d'une population aux intérêts divergents.

<sup>10</sup> Personnes provisoirement déplacées lors de la guerre du Surinam (1986, 1992)

<sup>11</sup> Chaque année, les autorités de Guyane expulsent des milliers de personnes "irrégulières". La perméabilité des frontières n'assurant qu'une protection illusoire, elles n'auront pas grande difficulté à réintégrer le territoire guyanais.

## II- LA NECESSAIRE RE-CONNAISSANCE DES TERRITOIRES GUYANAIS

### II-1 DES DYNAMIQUES RECENTES PREOCCUPANTES :

#### II-1-1 Dynamiques socio-économiques, dynamiques territoriales :

D'importantes concentrations humaines, en forte croissance, se pressent sur des portions exiguës de territoire, laissant présager, tout au moins pour l'Île de Cayenne, un avenir problématique pour ce qui est de l'occupation de l'espace dans les années à venir : les moins de 20 ans représentent en effet près de 45% de la population totale (contre 25% en France) et la surpopulation avec ses nuisances guette déjà (embouteillages, pollutions, haut niveau sonore,...).

##### II-1-1-1 en milieu urbain / péri-urbain

Typiquement dans les différentes agglomérations de l'Île de Cayenne, les tissus urbains se sont progressivement densifiés puis étendus jusqu'à gagner des zones périphériques occupées par la forêt ou par des savanes marécageuses (Gardel, 2003) ; les conséquences sont multiples . Les populations défavorisées investissent les terres dont personne ne veut, souvent insalubres. La densification de ces quartiers crée de graves problèmes d'enclavement qui augmentent la ségrégation et le développement d'une véritable économie parallèle, où le secteur informel règne.

On assiste à :

- l'extension anarchique de ces formes d'habitat insalubre (bidonvilles) à l'intérieur même des centres urbains ;

- le développement d'un habitat plus ou moins précaire et non cadastré, souvent accompagné de petits abattis en proche banlieue.

**Collines prises d'assaut dans les environs de Cayenne** (Photographie A. Gardel)



Ces phénomènes accentuent le mitage de l'espace forestier dans des zones normalement protégées par les documents d'urbanisme.

La population de l'Île de Cayenne (communes de Cayenne, Remire-Montjoly, Matoury) compte désormais 100.000 habitants pour une superficie de 230 km<sup>2</sup>. Même si seuls le centre et la façade sud-est de l'agglomération présentent des aires urbaines densément peuplées, les poches d'habitats précaires, progressivement intégrées en termes de viabilisation et de desserte, se multiplient, tendant peu à peu à occuper tous les espaces interstitiels.

**Cayenne et ses villes satellites Remire-Montjoly et Matoury** (Image SPOT 2001)

Plus particulièrement sur la bande littorale, de nombreuses populations migrantes (haïtiens, guyaniens, surinamais) sont « autorisées à s'installer » (moyennant services ou argent comptant) par des familles créoles guyanaises sur des terres dont le statut juridique n'est pas toujours très limpide afin de participer à leur mise en valeur.

Un autre phénomène se développe : celui des « associations ». L'une d'entre elles, l'association « ensemble-ensemble » occupe aux portes de Cayenne une vaste parcelle (800 hectares approximativement) sur laquelle se sont installées des centaines de familles de toutes origines (dont beaucoup de brésiliens).

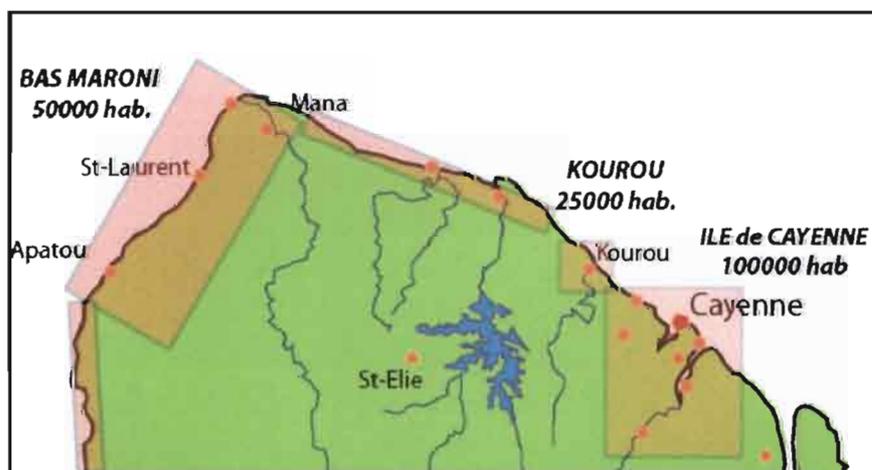


**« Ensemble » : Lotissement spontané entre Cayenne et Macouria**

Image Spot 5 « supermode »  
(K - J : 691-340 ; 18 oct 2004)  
(taille du pixel : 2.5 m)

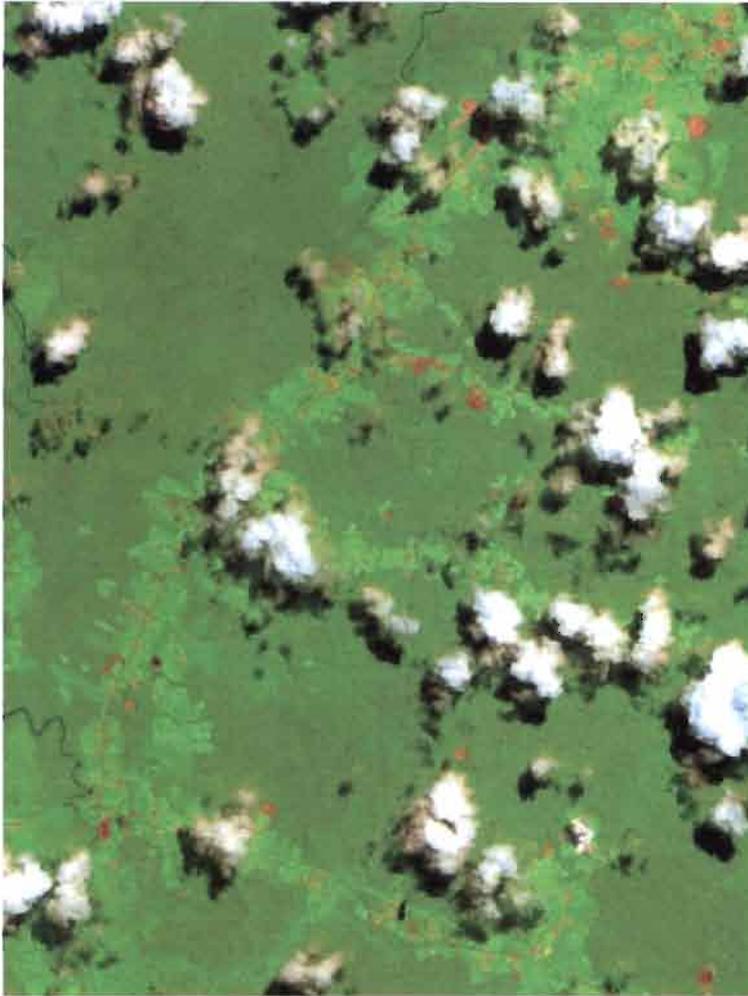


**« Ensemble » : détail** – Photographie aérienne SERG (juin 2004)  
(taille du pixel : 20 cm)



Les 3 principaux bassins de peuplement, l' étroite bande littorale et les berges du Maroni concentrent la presque totalité de la population guyanaise estimée à 200000 personnes en 2005.

En zone forestière, dans l'arrière littoral ou le long des cours d'eau, notamment dans l'Ouest du département, mais aussi à proximité des massifs forestiers aménagés par l'ONF, on assiste, localement, à la déforestation de nombreuses parcelles dont certaines de grande taille. Différents types d'agricultures se mettent en place : fixées, semi-fixées ou itinérantes.



#### Route Saint-Laurent – Mana

Chapelets d'abattis le long des axes routiers et des pistes forestières.

Image SPOT (K / J : 688-339 10 oct. 2003)  
(composition colorée MIR, PIR, R)

Ces dernières pratiques (sous leur forme itinérante) correspondent à une utilisation traditionnelle de l'espace par les communautés Noirs Marrons actuellement en explosion démographique. Elles inquiètent de plus en plus les Services Fiscaux, préoccupés par leur extension plus au sud le long du tracé du futur axe routier Saint-Laurent-du-Maroni – Apatou.

Nous y reviendrons plus loin.

Toutes ces implantations sont mal connues, car difficiles d'accès. Afin de mobiliser peu de moyens humains et matériels, la télédétection peut jouer un rôle important. Il suffirait de surveiller régulièrement certaines zones pour évaluer le degré d'extension du phénomène.

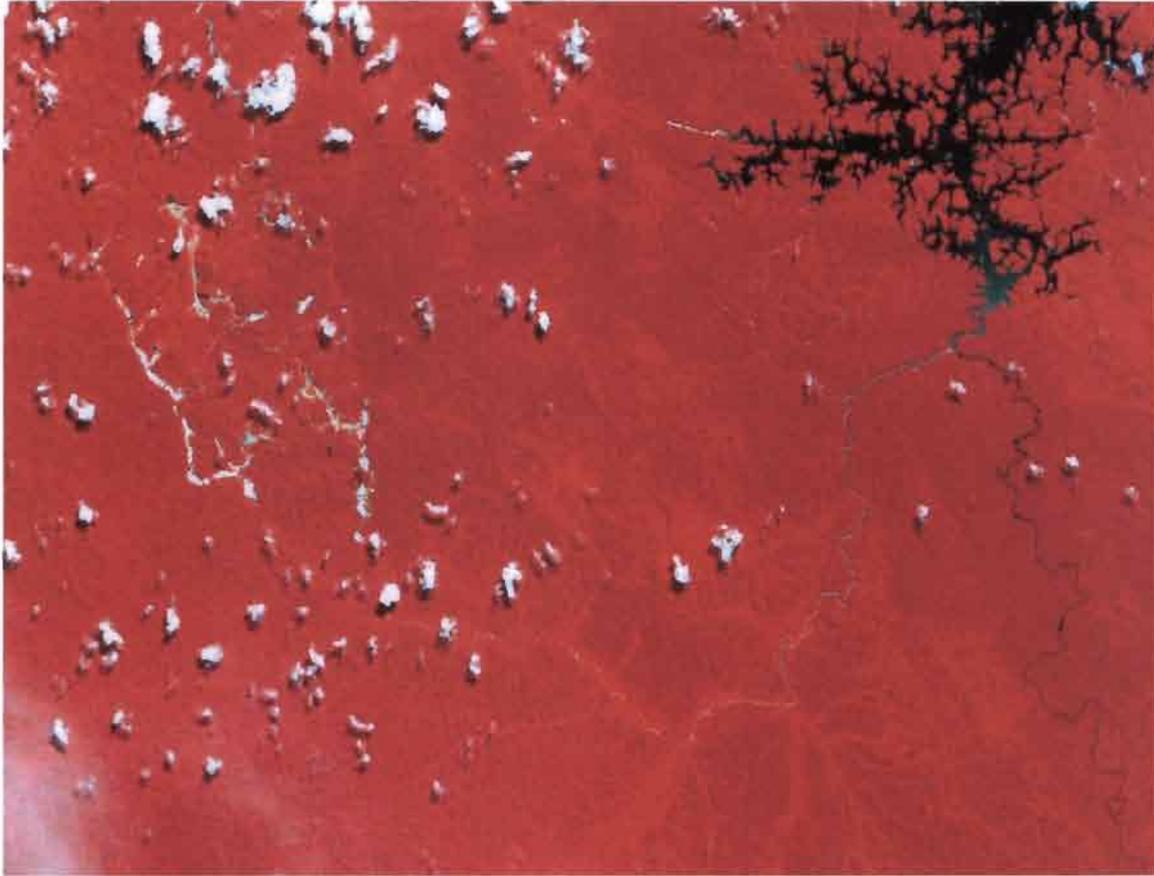
**Les abattis :** La durée de vie d'un abattis est d'environ trois ans. La phase de préparation se déroule l'été (en saison sèche) : sabrage du sous-bois et abattage des arbres, puis séchage et enfin mise à feu. Le brûlis fertilise le sol, le phosphore et le potassium se déposant dans les cendres; l'azote par contre disparaît ce qui explique qu'à terme il faudra laisser la terre se reposer.

Des végétaux à cycle court (maïs, aubergines, haricots, gombos, concombres, pastèques) sont d'abord plantés et récoltés 4 mois plus tard ; c'est alors le tour des végétaux à cycle moyen (patates douces, ignames, taros, piments, gingembre) récoltés au bout de 6 mois en même temps que des végétaux à cycle long (manioc, bananes, canne à sucre, ananas) récoltés au bout d'un an. Un an après les premières plantations, les abattis bushi-nengués et amérindiens sont couverts à plus de 80% de manioc, qui est l'aliment principal de ces populations et sert à fabriquer le couac (semoule de manioc) et la cassave (galette de manioc) pour les Amérindiens.

Au bout de trois ans, l'abattis est mis en jachère courte d'environ 2 ans où les cultures comme la banane, l'ananas ou le manioc continuent à être récoltées. Un nouveau brûlis fertilise la terre et s'ensuit le même cycle de plantations. Un abattis verra environ 3 cycles de plantations selon la fertilité du sol puis l'exploitant laisse la terre en jachère longue, environ 10 ans pendant lesquels la forêt repousse. La jachère forestière permet la reconstitution du pouvoir fertilisant des sols grâce à la biomasse accumulée.

La présence d'or et un certain laxisme des autorités entraînent le développement de l'orpaillage clandestin : multiplication des sites non contrôlés (exploitation sauvage) et localement fortes concentrations humaines ; avec un double impact :

- social : trafics, délinquance, crimes fréquents ;
- environnemental : pollutions des criques, déforestation, dégradation des milieux.



**Orpaillage sur le haut de la rivière Courcibo, en amont du lac de retenue du barrage de Petit-Saut**  
Image SPOT (composition colorée PIR, R, V : XS3, XS2, XS1)

La différence perceptible de teinte entre les eaux sombres du lac de retenue et du fleuve Sinnamary et celles plus claires de la rivière Courcibo témoignent d'un orpaillage intense sur cette dernière, les eaux boueuses chargées de sédiments étant particulièrement réfléchissantes dans le canal infrarouge.



D'autres criques plus à l'ouest, en amont de Saint-Elie, présentent le même aspect. Les bassins versants de la Mana et du Sinnamary figurent depuis plus d'un siècle parmi les régions les plus fréquentées par les orpailleurs.

Si la résolution décimétrique propre à SPOT permet de localiser des criques orpaillées de manière très fiable, une description détaillée de l'activité nécessiterait une résolution métrique.

Outre les dégâts causés à la forêt primaire, les berges des criques, démantelées par les pelles mécaniques pour être transformées en fosses d'exploitation (*barranques*) vont

constituer autant de gîtes larvaires potentiels pour les vecteurs de maladies transmissibles comme le paludisme ou la dengue, en pleine recrudescence à l'intérieur du pays. Une surveillance régulière serait à mener ; compte tenu des difficultés d'accès de ces sites, la télédétection semble incontournable.

Tous les phénomènes cités précédemment ont pour principales conséquences :

- ✓ la multiplication de problèmes d'aménagement du territoire et de gestion du foncier, la plupart des installations urbaines ou rurales ayant un caractère illégal ;
- ✓ la dégradation des milieux, avec recrudescence de certaines maladies transmissibles;
- ✓ l'apparition de risques sur l'environnement et la biodiversité ;

Leurs répercussions sur des modifications locales du climat, évoquées par certains, seraient à évaluer .

L'exception guyanaise : Saül, le cœur de la Guyane



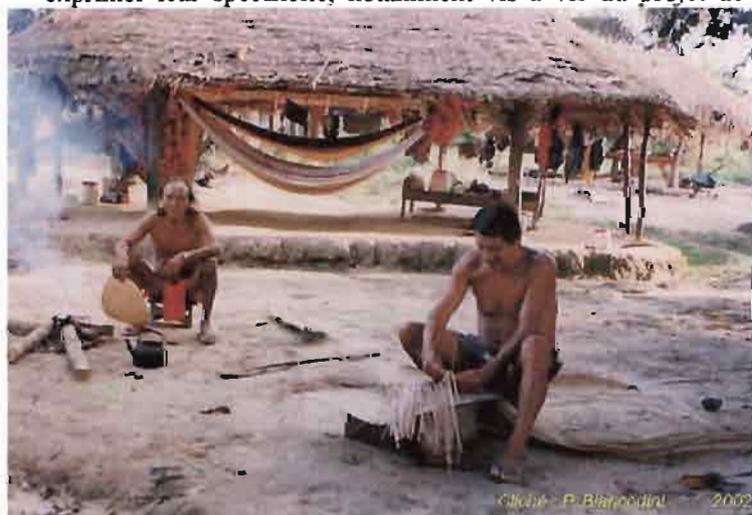
**Saül, vue générale du village**  
(160 habitants en 1999)

Auparavant parcourues par les Indiens Emérillons, les régions du Haut Approuague et de Saül ont été à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle l'objet d'une véritable ruée vers l'or. Entre 1910 et 1930, la population d'orpailleurs croît fortement dans cette région. De nombreux émigrés des îles antillaises de Sainte Lucie et de la

Dominique viennent tenter leur chance dans l'or. Le village de Saül naît ainsi en 1910 suite à l'installation d'un émigré saint Lucien, du nom de Sahul, sur le site de l'actuel village. Relativement distant des cours d'eau, Saül n'est accessible que par la voie des airs, et cet isolement semble constituer son principal atout. C'est le rendez-vous des randonneurs et des amoureux de la nature. Son avenir est intimement lié à la mise en service du « Parc du Sud » dont il constituerait la porte d'entrée.

## II-1-2 Dynamiques identitaires, dynamiques territoriales : l'espace social du Haut-Maroni et le Parc du Sud

Face à la prégnance de la société globale, les populations du Haut-Maroni (Bushi Nengue « Aluku » et Wayana) déploient une double dynamique : identitaire et territoriale. Elles entendent rester elles-mêmes et exprimer leur spécificité, notamment vis à vis du projet de Parc National. Ce projet incite en effet une



communauté comme l'autre à réaffirmer leurs droits territoriaux, et renvoie plus largement à un débat qui traverse aujourd'hui la Guyane : quelle doit être la place des populations autochtones et de leurs institutions coutumières dans une Guyane qui s'inscrit dans un modèle culturel, politique et institutionnel français métropolitain, ou plus globalement de type occidental ? Et quelle reconnaissance doit-on accorder aux modes spécifiques de représentation de la nature et d'usage des ressources dont ces sociétés sont porteuses ? (G. Collomb, proposition de recherche dans le cadre du Programme « Amazonie » du CNRS Guyane).

**Activités domestiques dans un village d'Amérindiens au sud de Maripasoula.**

Les hamacs sont étendus sous les carbets traditionnels.

Ainsi, la télédétection va nous aider à re-connaître, re-découvrir les territoires guyanais.

## II-2 LE TERRITOIRE ET SA GESTION AU CENTRE DES PREOCCUPATIONS :

### II-2-1 Entre développement autoritaire, subi ou concerté...

A plusieurs reprises dans l'Histoire de la Guyane, des tentatives d'aménagement, souvent ambitieuses, comme la malheureuse « expédition de Kourou » ou le « Plan Vert » qui lui succéda deux siècles plus tard, se sont soldées par des échecs retentissants. Plus récemment (fin des années 1990) la première « Mission pour la création du Parc du Sud » capota, faute de concertation, avant d'être relancée. La grande leçon de ces expériences passées est que l'on ne peut importer telles quelles en Guyane des « solutions » conçues ailleurs, et qu'il est préférable de prendre le temps de bien étudier la situation -sur place- avant de se décider à agir. Le pays est vaste, les conditions d'accès et d'installation y sont difficiles, les populations qui le composent obéissent à des logiques qui leur sont propres ; le poids de l'Histoire est là, également. Une certaine prudence est donc de mise, et les autorités de l'Etat semblent en avoir maintenant pris conscience, la décentralisation aidant.

Cependant, les nouveaux problèmes évoqués plus haut, expressions territoriales des mutations sociales en cours, sont à évolution rapide et leurs répercussions (sociales, sanitaires, environnementales) fâcheuses. En tant que tels, ils demanderaient un traitement qui soit à la fois rapide et efficace, donc bien informé, ce qui demande forcément un certain délai. Ce paradoxe peut expliquer le fait que, bien qu'apparaissant comme ayant été pris de vitesse sur un « terrain », l'Etat soit amené à différer sa réaction donnant parfois localement l'impression de « lâcher du lest », ce qui reste à vérifier sur le long terme.

Ainsi, si dans le cas de la répression de l'orpaillage clandestin les Services de l'Etat manient de plus en plus souvent le bâton, par le biais des opérations « Anaconda », sans s'attaquer pour autant à la racine du problème -les circuits d'approvisionnement, qui seraient pourtant faciles à circonscrire- ils agissent avec davantage de circonspection quand il s'agit de faire face à des situations complexes et de grande ampleur impliquant des centaines (voire des milliers) d'acteurs en situation d'extrême précarité pour la plupart, comme c'est le cas à « ENSEMBLE<sup>12</sup> » entre Cayenne et Macouria, ou bien dans l'Ouest du département ; cela n'empêche pas, parallèlement, des actions spectaculaires de destruction d'habitations illégales dans d'autres secteurs, abondamment relayées par les media pour leur donner un caractère exemplaire. Si la lisibilité des actions de l'Etat est parfois difficile à appréhender au coup par coup, sa volonté de ne pas se laisser déborder partout en même temps, et surtout de ne pas céder sur l'essentiel, quand il est question, par exemple, de répondre au souhait de certains maires de se voir attribuer les terres correspondant à leurs limites territoriales afin de constituer « des réserves foncières » est claire. La méfiance est en effet de mise vis à vis du risque de comportements déviants de certains potentats locaux.

### II- 2-2 Le manque d'un outil d'évaluation des changements au niveau du territoire

#### II-2-2-1 Un état des lieux difficile à appréhender...

En l'absence d'un outil d'évaluation et de suivi de l'occupation du sol adapté, des situations sont prises en compte seulement lorsqu'il est déjà trop tard, ou que des problèmes émergent, la plupart des changements s'opérant souvent derrière un rideau d'arbres, *en catimini* (en apparence tout au moins, car le pays a depuis longtemps un mode de fonctionnement « autonome », en ce sens qu'il faut bien s'accommoder de la lenteur, voire du laxisme, de certains services publics). Comment d'autre part faire la part des choses, pour un promeneur guyanais moyen, tout comme pour un personnel d'une quelconque administration, lors d'une ballade de week-end dans une région qu'il a connue jadis peu occupée pour le premier, ou d'une mission terrain pour le second, entre un mitage du territoire à caractère illégal ou au contraire tout à fait légal? Les défrichements sont les mêmes, les habitats, souvent précaires, aussi. La *vacance* (tout comme l'*occupation*) sont des concepts ambigus, voire flous, et sur le terrain et dans certains services administratifs du fait de la non exhaustivité (compréhensible) des régularisations opérées et enregistrées.

#### II-2-2-2 Des conséquences fâcheuses :

La question est toute autre lorsque ces changements dans l'état d'occupation du sol sont tellement radicaux ou atteignent de telles proportions que l'équilibre socio-économico-écologique d'une région en est rompu, en raison des impacts négatifs pour les milieux, les populations qui y vivent ou qui en vivent et au delà l'environnement au sens large de la région toute entière.

<sup>12</sup> Enorme lotissement sauvage, géré par l'association « Ensemble-Ensemble » aux portes mêmes de Cayenne.

Ces impacts se déclinent essentiellement en termes de :

- ✓ Santé publique : recrudescence de maladies dues à des formes d'habitat insalubres, ou à une dégradation subite des milieux consécutive à une déforestation importante ou un orpaillage mal conduit, constituant autant de conditions environnementales propices à la prolifération de maladies à vecteur ou à la contamination des populations (au méthylmercure en particulier);
- ✓ Atteinte à la biodiversité, sous toutes ses formes (animale, végétale, génétique) mettant à mal une incomparable richesse floristique et faunistique dont on se rendra compte un jour, une fois les dernières vapeurs de mercure définitivement dissoutes dans l'atmosphère avec les remugles du dernier lanceur (Ariane ou autre), qu'elles constituent la réelle richesse de ce département ;
- ✓ Gestion perfectible du foncier (invasion de terres dont la vacuité n'était pas avérée, occupation illégale de terres du domaine réservé de l'Etat), interactions ville-campagne et au delà aménagement d'un territoire confronté à un phénomène d'explosion démographique sans précédent ;
- ✓ Modification locale du climat (liée à la déforestation massive de certaines zones).

Toutes ces problématiques étant pour une large part interdépendantes car, finalement, elles sont l'expression d'un développement non maîtrisé. Le territoire est grand et les moyens pour le gérer, humains, matériels, sûrement insuffisants, ou mal adaptés. De nouveaux outils d'évaluation et de suivi de l'occupation du sol seraient à imaginer, mettre en place.

### II-3 LA QUESTION DE FOND :

**La question de fond à laquelle nous cherchons à répondre est la suivante :**  
**Comment faire pour mieux connaître l'état d'occupation du sol et de ses changements, actuellement très rapides, de manière à anticiper les problèmes que ces changements génèrent plutôt que de les subir ? Autrement dit, comment évaluer les dynamiques en cours et leurs incidences, en nous focalisant sur les domaines déjà identifiés comme étant prioritaires ?**

Se posent également les questions :

- de la destination finale des connaissances acquises : accès réservé ou ouvert au plus grand nombre d'acteurs dans la perspective d'une gestion concertée du territoire ?
- de leur gestion : mise à jour et stockage des données ;
- des formes et moyens de diffusion de l'information : publications classiques, mise en ligne sur Internet, ....
- des coûts (matériels, humains) impliqués par la mise en œuvre d'une telle entreprise.

### II-4 NOTRE PROPOSITION : ŒUVRER POUR LA MISE EN PLACE D'UN OBSERVATOIRE D'OCCUPATION DU SOL S'APPUYANT SUR LES TECHNIQUES DE LA TELEDETECTION

Il apparaît clairement que les problèmes auxquels la Guyane commence à être confrontée en ce moment sont des problèmes d'aménagement du territoire, et que ces problèmes seront amenés à s'intensifier dans les années à venir (Cf. projections démographiques INSEE).

Le territoire étant vaste, difficilement pénétrable, mal contrôlé et encore mal connu (pas par tout le monde cependant, ainsi qu'en témoigne la fréquentation assidue de certains secteurs aux fins fonds des bois), aidons-nous des outils adéquats pour mieux le connaître -les images issues des satellites d'observation et autres photos aériennes- et dotons-nous d'un outil qui nous permette, dans un premier temps, d'élever notre niveau actuel de connaissances en nous informant sur l'état des lieux actuels, et par la suite de nous maintenir informés grâce à un mécanisme de mise à niveau régulière de ces connaissances.

Pour ce faire, utilisons des études menées récemment en Guyane dans le domaine de la télédétection ; évaluons les méthodologies et les outils susceptibles de répondre à notre problématique parmi ceux déjà expérimentés; complétons-les, perfectionnons-les, imaginons-en de nouveaux. En travaillant sur plusieurs fronts, plusieurs thématiques, cherchons à réaliser des économies d'échelles (en données, moyens humains, efforts de conception) : rationalisons...

Dans ce qui suit, après une brève revue des organismes de recherche présents en Guyane et de leurs principales thématiques, nous examinerons tout d'abord quelles sont les ressources en télédétection accessibles au niveau du centre IRD de Guyane, ainsi que les avancées méthodologiques réalisées ces dernières années dans le cadre d'études menées au sein ce laboratoire.

Ensuite, nous présenterons quelle est notre vision d'un Observatoire de l'occupation du sol en Guyane , et en quoi il se différencie des études menées précédemment en détaillant de manière succincte :

- Son principe de fonctionnement ;
- Le type des données en entrée ;
- Les données produites ;
- Sa destination .

### III-1 PETIT HISTORIQUE : LES ORGANISMES DE RECHERCHE PRESENTS EN GUYANE

La Guyane a toujours attiré les scientifiques. Il a d'abord fallu cartographier ces nouvelles possessions, puis en évaluer les ressources. Au temps de « la France Equinoxiale » (1672), l'Académie des Sciences de Paris, fondée depuis peu, envoie **Jean Richer** en mission à Cayenne dans la volonté de déterminer « la figure de la Terre ».

Puis de nombreuses missions de scientifiques (géographes, astronomes, botanistes,...) se succèdent. **La Condamine** (astronome, géographe et naturaliste, passionné par la chimie et la géodésie), débarque à Cayenne en 1744, suivi par **Fusée-Aublet**, apothicaire et botaniste (1762) qui va publier en 1775 « *l'Histoire des plantes de la Guyane française* ». Leur succède **Leblond**, médecin naturaliste, qui sillonnera la colonie à la recherche du quinquina jusqu'à la « Haute Guyane » (sans le trouver), puis le docteur **Artur** qui y séjournera 35 ans (de 1736 à 1771), alimentant les connaissances scientifiques dans de nombreux domaines. Le XIX<sup>e</sup> siècle sera le temps des « explorateurs » célèbres : **Jules Crevaux**, **Henri Coudreau** traceront les premières cartes du sud de la Guyane. Dans certains secteurs, la connaissance du territoire n'a guère évolué depuis. On peut citer le géographe-ethnologue **Jean Hurault** qui, à partir de 1946, fut envoyé en mission pour terminer la carte encore inachevée et dessiner la frontière avec le Brésil. Equipé de sa caméra, il ramènera de ses voyages des images essentielles à la compréhension des peuples de la forêt guyanaise.

Au début du XX<sup>e</sup> siècle (1914) l'Institut d'Hygiène et de Bactériologie, prédécesseur de l'**Institut Pasteur**, s'installe à Cayenne ; cette implantation correspond à la mise en place d'un dispositif de recherche sur les maladies transmissibles infectieuses et parasitaires, dont le paludisme et la dengue.

Avec la départementalisation, et les premiers « plans de développement » viendront plusieurs autres organismes :

- l'Institut Français d'Amérique Tropicale prédécesseur de l'**ORSTOM** (actuel IRD) en 1946,
- l'**INRA CRAG** (1949).
- la première mission **IGN** destinée à assurer une couverture photographique complète du territoire sera menée en 1947; d'autres campagnes suivront, régulièrement programmées.

Le dernier tiers du XX<sup>e</sup> siècle verra la mise en place progressive des centres et antennes de recherches officielles accompagnée de celle des services déconcentrés de l'Etat, partenaires institutionnels de la recherche scientifique (**DRRT**, **DRAC**, **DIREN**, **DRIRE**) : installation de l'**IFREMER** (1971) suivi du **BRGM** (1975).

Avec la création du **Centre Spatial Guyanais** viendra le **CNES** (1964). Le lancement du « Plan Vert » en 1975 sera accompagné par l'implantation du **CTFT** -qui deviendra plus tard le **CIRAD Forêt** (1984)- et le renforcement de l'**INRA** (**SAD** : Systèmes Agraires et Développement) à Kourou. Ces organismes seront rejoints par l'**ENGREF** en 1989 qui participera de manière active à la création du Groupement d'Intérêt Scientifique « **Silvolab Guyane** » en 1992 et à l'émergence de l'**UMR ECOFOG** (Ecosystèmes Forestiers Guyanais).

A l'initiative de la Région Guyane, création du « **Laboratoire Régional de Télédétection** » à Cayenne en 1994, dans les locaux de l'**IRD**. Peu après (1997), décision est prise par le gouvernement de développer en Guyane un « **Pôle Universitaire** » dont la vocation sera d'être un jour autonome, déconnecté de la tutelle de l'**Université Antilles-Guyane (UAG)**.

Le **CNRS** s'installe en 2002, avec pour principales missions : (1) de renforcer et structurer son propre dispositif de recherche –de nombreux chercheurs **CNRS** étant impliqués en Guyane depuis de longues années dans des actions de recherche- ; (2) de participer à définition et à la structuration des recherches entreprises dans les autres organismes présents en Guyane par le biais d'**UMR** et par la création d'un « **Institut de Recherche Amazonien** » pluridisciplinaire ; (3) coordonner le déploiement du **PUG** (**Pôle Universitaire Guyanais**), désormais en cours de réalisation.

Il est à noter également l'implication de nombreux autres instituts, offices ou organismes de recherche (MNHN, INRAP, ONCFS, ONF, Mission pour la création du Parc du Sud, etc.) dans l'imposant dispositif de recherche mis en place progressivement dans le département.

### **III-2 LES PROGRAMMES DE RECHERCHE RECENTS ET EN COURS:**

#### **III-2-1 Les principales thématiques abordées:**

- ✓ Ecosystèmes côtiers amazoniens :
  - Objectifs : Les recherches conduites au sein d'ECOLAB sont très transversales, portant sur le milieu physique (hydrodynamique côtière, sédimentologie...), biologique (écologie des mangroves et des zones humides littorales, ressources), et social (croissance urbaine, épidémiologie). L'outil télédétection est ici très fortement mis à contribution.
  - Organismes concernés : IRD, BRGM, IFREMER, CNRS
- ✓ Ecosystèmes forestiers et technologie des bois de Guyane :
  - Objectifs : Les recherches conduites visent à la conservation et à la mise en valeur du patrimoine forestier guyanais, par l'étude du fonctionnement de l'écosystème afin de proposer des modes de gestion durable.
  - Organismes concernés : CIRAD, CNRS, ENGREF, INRA, IRD, ONF,
- ✓ Santé ; Ecologie & santé :
  - Objectifs : Epidémiologie des maladies transmissibles (paludisme, dengue, fièvre Q, maladie de Changas, ...) avec là aussi une forte contribution de l'outil télédétection.
  - Organismes concernés : Institut Pasteur, IRD, CNRS, UFR Médecine de l'UAG
- ✓ Sciences Humaines & ethnosciences ; linguistique :
  - Objectifs : étude de l'évolution des sociétés traditionnelles, des réseaux sociaux, de l'évolution et de l'adaptation des savoirs en Amazonie ; langues des populations amazoniennes (créoles, langues amérindiennes, langues bushi nengue)
  - Organismes concernés : CNRS, IRD, MNHN , Mission Parc
- ✓ Télédétection : discipline transversale, que l'on rencontre dans la plupart des thématiques citées.
  - Objectifs : application de la télédétection et de la géomatique à la gestion des territoires amazoniens, à l'évaluation des atteintes à la biodiversité, à l'épidémiologie des maladies transmissibles et à l'étude du fonctionnement des écosystèmes côtiers.
  - Organismes concernés : CNES, IRD, CNRS, CIRAD, ENGREF, ONF

#### **III-2-2 La problématique de la recherche au service du développement régional**

Comme dans les autres DOM, il existe un débat sur le rôle de la recherche mais celui-ci est particulièrement marqué en Guyane où, pendant longtemps, il a été considéré que le département était la "chasse gardée" des scientifiques, en décalage avec les préoccupations de développement régional. La problématique du passage d'une recherche fondamentale profitant de la position géographique de la région à une recherche appliquée au profit de cette même région est ainsi très forte en Guyane, même si la virulence des débats tend à s'atténuer depuis quelques années.

Les organismes de recherche sont par ailleurs considérés par les acteurs politiques comme trop introvertis et trop soumis au « turnover » des chercheurs. En Guyane, ce sentiment est renforcé par la présence d'un grand nombre de chercheurs français et étrangers missionnaires qui viennent "se servir" et faire de la "collecte" de données ou de molécules et qui repartent conduire les analyses et exploiter ailleurs les résultats, sans penser au "retour", que ce soit en termes de création d'emplois sur place par une implantation permanente, ou de recherche appliquée ou encore de valorisation de la Guyane au niveau international.

Or, il existe une demande croissante au niveau local, en matière d'expertise scientifique dans différents domaines mais aussi en matière de transferts de technologies en direction du tissu économique, qui n'est pas aujourd'hui satisfaite malgré la taille du dispositif scientifique régional (Source : Rapport régional

Guyane : Etude pour la DG Recherche de la Commission européenne – juillet 2002). La création de « Guyane Technopole » à la fin de l'année 2000 sous l'égide principalement de la Région Guyane, du CNES, du CIRAD et de l'IRD, avec pour mission principale de favoriser le transfert de la recherche vers l'économie locale devrait participer à combler ce vide.

Dans un passé récent, l'IRD par le biais notamment des activités développées au niveau du LRT en matière de recherche en méthodologies innovantes en traitement de données spatialisées a apporté une contribution significative au développement régional, par le biais de conventions passées avec différents organismes ou institutions (comme l'EPAG, l'IFREMER, le CIRAD, ... ), faisant avancer les connaissances dans des domaines clés comme la caractérisation et le suivi de la déforestation, la cartographie du littoral et des zones humides, la caractérisation des paysages urbains, l'épidémiologie des maladies transmissibles, le suivi de l'exploitation forestière, ... avec à plusieurs reprises l'appui financier de la Région Guyane. Le passage de ces projets pilotes à une application opérationnelle conforme aux attentes des gestionnaires du territoire n'a malheureusement pas eu lieu, faute de données et de moyens, ce qui explique que ces travaux soient restés cantonnés au monde scientifique malgré pour certains leur grand intérêt.

Complétant la mise à disposition récente auprès des organismes de recherche et institutions guyanaises de la base de données photographiques haute résolution « BD-ORTHO » de l'IGN, la mise en place prochaine de la station de réception SEAS Guyane « Surveillance de l'Environnement Assisté par Satellite » (Cf. paragraphe III-3-6) permettra, en donnant un accès en temps quasi réel à l'ensemble des satellites de la série SPOT et à ENVISAT, d'augmenter significativement le nombre d'images acquises dans la région (avec une probabilité accrue d'obtention de scènes non perturbées par la couverture nuageuse, problématique sous ces latitudes). L'usage de données à haute résolution optique (2,5m de résolution spatiale pour SPOT 5) et radar (avec ENVISAT) permet d'envisager une très grande variété d'applications (cartographie, études environnementales, aménagement, etc.). Pour peu que les initiatives suivent, l'attractivité de cette infrastructure devrait favoriser la constitution d'équipes de recherche adossées au Pôle Universitaire Guyanais qui mettront la télédétection au service du développement de la Guyane dans des domaines clés comme la surveillance de l'exploitation des ressources naturelles (zones de pêche, déforestation/orpaillage, envasement/érosion, ...), la connaissance, la cartographie et le suivi de l'occupation du sol et de ses usages (aménagement du territoire), la planification du développement des infrastructures et de leurs implantations (études d'impact).

### **III-3 LA TELEDETECTION EN GUYANE : PANORAMA DES DONNES DISPONIBLES**

#### **III-3-1 Rapide introduction à la discipline:**

##### **III-3-1-1 Généralités :**

La télédétection englobe tous les processus consistant à capter et enregistrer l'énergie du rayonnement électromagnétique (R.E.M.) émis ou réfléchi par un ensemble d'objets distants, puis à traiter et analyser l'information recueillie. Dans notre cas précis, cet ensemble d'objets sera l'ensemble « territoire guyanais et son atmosphère environnante » observé à distance par le biais d'instruments embarqués dans des plate-formes volantes (avions ou satellites).

On distingue deux types de télédétection: 1- la télédétection « passive » qui utilise le R.E.M. naturel comme véhicule de l'information captée au niveau d'objets eux-mêmes éclairés par le soleil : c'est le cas de la télédétection optique ; 2- la télédétection « active » qui utilise comme véhicule de l'information l'écho d'un R.E.M. artificiel envoyé sur la cible par l'antenne de l'instrument d'observation lui-même : c'est le cas de la télédétection radar.

Les capteurs utilisés en télédétection sont des radiomètres imageurs, en ce sens qu'ils mesurent des rayonnements et organisent ces mesures sous forme d'images, qui seront utilisées pour obtenir des informations sur les objets qu'elles représentent (c'est à dire sur les éléments du paysage). Le seul lien qui relie l'image à l'objet est le rayonnement émis ou réfléchi par cet objet et reçu par le radiomètre.

La télédétection s'appuie donc avant tout sur une bonne connaissance des R.E.M. et de leur comportement au contact de la Terre et à travers l'atmosphère et aussi, en grande partie, sur l'expérience et l'intuition du photo-interprète (Polidori).

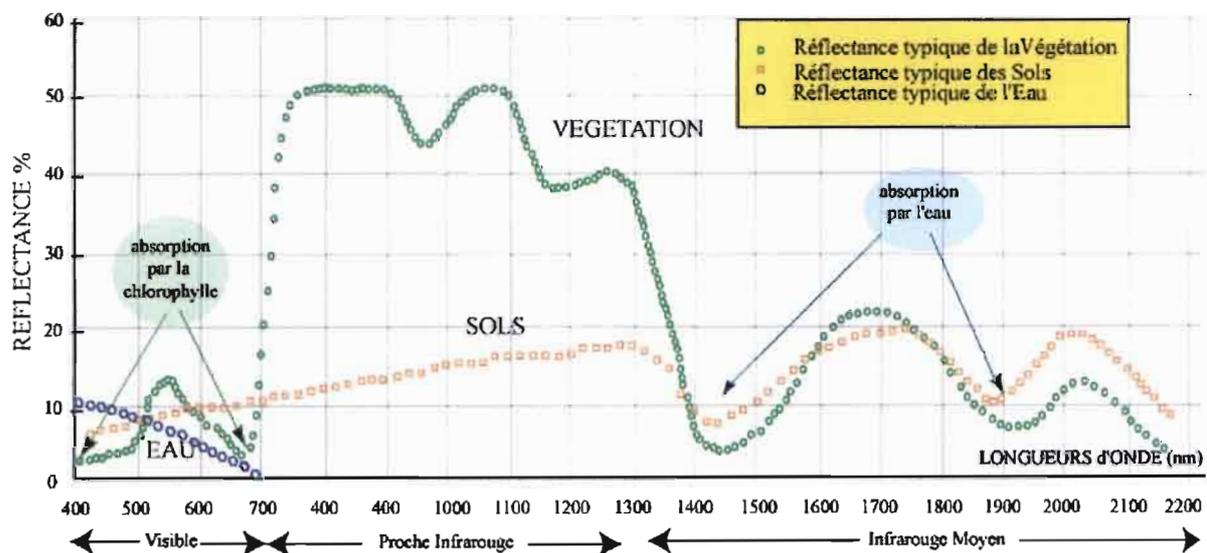
### III-3-1-2 Notion de signature

La signature est une grandeur qui permet de caractériser les objets (éléments de paysages) observés et que l'on peut déduire à partir des images. Une signature peut être obtenue à partir de modèles théoriques (simulations) en laboratoire, ou par des mesures réelles dans des images acquises sur des sites parfaitement connus. Pour caractériser la nature d'une surface on s'appuie sur des grandeurs normalisées, aussi intrinsèques que possible (Polidori) :

- la réflectance pour les images optiques (capacité à réfléchir la lumière solaire) ;
- l'émissivité pour les images thermiques ;
- le coefficient de rétro-diffusion pour les images radar

La signature est une grandeur qui dépend à la fois des caractéristiques de l'onde incidente et de celles de l'objet observé. Par exemple la réflectance dépend de la nature du matériau mais aussi de la longueur d'onde.

Ainsi, les propriétés optiques de paysages sont assez bien caractérisées par la signature spectrale, dont on donne quelques exemples ci-après :



Réflectance typique des sols, de la végétation et de l'eau (source Caloz, 1992)

Dans le cas des images radar, le coefficient de rétro-diffusion (qui exprime la capacité des objets à renvoyer les ondes radar vers l'antenne) est un excellent indicateur de la rugosité des surfaces et de leur humidité.

C'est précisément dans la variété des comportements spectraux des divers éléments constitutifs de la surface terrestre (eau, sols, végétation) dans l'éventail des longueurs d'onde utilisables (de l'ultra-violet aux micro-ondes) que réside l'intérêt principal de la télédétection dans sa capacité à discriminer les différents types de sols ou de végétation selon le type de capteur ou le canal d'observation utilisé, permettant de discerner ce que l'œil ne peut voir.

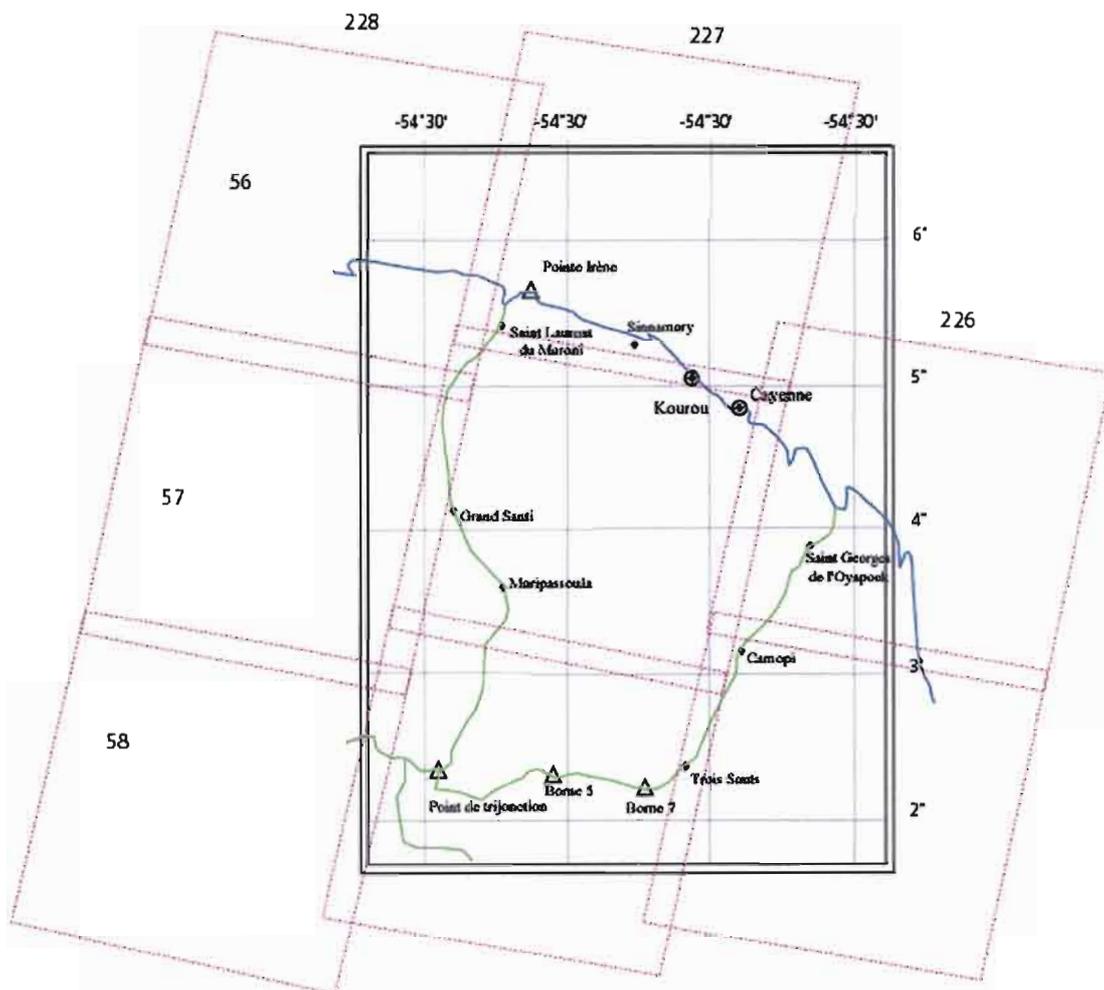
### III-3-2 Le potentiel en données satellitaires

En Guyane, les données satellitaires sont utilisées depuis les années 80. Les images qui ont été le plus mises à contribution sont celles des satellites NOAA, LANDSAT et SPOT au niveau « optique », ainsi que celles des satellites ERS, JERS, RADARSAT et ENVISAT (successeur des ERS) au niveau « radar ». Les données SRTM « Shuttle » sont également exploitées, dans la mesure où elles fournissent un modèle numérique de terrain de qualité correcte (pas de 90 m) qui plus est libre d'accès. D'autres données, comme celles du satellite IKONOS sont utilisées pour des applications scientifiques bien particulières nécessitant la très haute résolution spatiale. Certaines de ces produits sont gratuits (librement téléchargeables sur internet), mais la grande majorité sont payantes. Des réductions conséquentes sont cependant consenties aux organismes publics d'enseignement et de recherche après validation par le fournisseur d'images du projet de recherche envisagé (par exemple le programme ISIS du CNES pour l'accès aux données SPOT).

### III-3-2-1 Imagerie optique : LANDSAT (NASA)

Les satellites LANDSAT ont été les premiers satellites d'observation de la terre (LANDSAT 1 lancé en juillet 1972, restera 6 ans en service). Les satellites évoluent à une altitude moyenne de 705 km, sur des orbites circulaires quasi-polaires caractérisées par une inclinaison de  $98,2^\circ$  (ce qui permet l'héliosynchronisme). Un tour de terre prend 99 minutes, si bien qu'ils décrivent 14,5 révolutions par jour, et un cycle orbital complet dure 16 jours. L'instrumentation embarquée a évolué au fil des satellites, depuis la caméra RBV (*Return Beam Vidicon*) et le radiomètre multispectral MSS (*Multi Spectral Scanner*) de 1972 jusqu'au radiomètre ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) de 1999.

La résolution spatiale est passée de 80 m à 30 m (ou 15 m en mode panchromatique) et les domaines spectraux explorés concernent le visible, l'infra rouge proche et moyen ainsi que l'infrarouge thermique. Le radiomètre ETM+ permet ainsi d'offrir des images couvrant un champ d'observation de  $185 \times 185$  km avec une résolution spatiale de 30 m en mode multispectral.



Couverture LANDSAT : 5 scènes (fauchée de  $185 \times 185$  km) couvrent la presque totalité du département

Grâce à la large fauchée propre aux capteurs LANDSAT, maintenue constante à 185 km depuis le premier satellite de la série, il faut seulement 5 scènes pour couvrir la totalité du département, ce qui est très attractif. Les scènes sont numérotées selon le rang (row) qu'elles occupent sur la trace au sol (path) du satellite, suivant les spécifications du « Worldwide Reference System » (WRS 2) de LANDSAT. Ainsi la scène dont les valeurs du couple path / row sont égales à 227 / 57 embrasse à elle seule les 2/3 du territoire guyanais. Cette caractéristique, couplée à une résolution spatiale élevée, explique que ces images aient été très utilisées dans le passé ; elles le sont nettement moins de nos jours à la suite du dysfonctionnement intervenu en juin 2003 sur un instrument embarqué (SLC : Scan Line Collector) du dernier satellite de la série (LANDSAT 7) qui altère malheureusement fortement la qualité des images produites.

Satellite	Capteur	Bande	$\lambda$ en $\mu\text{m}$	Amplitude	Résolution spatiale
Landsat 7	ETM+	TM1 - Bleu	0,45 à 0,52	0,07	30
		TM2 - Vert	0,52 à 0,60	0,08	30
		TM3 - Rouge	0,63 à 0,69	0,06	30
		TM4 - PIR	0,76 à 0,90	0,14	30
		TM5 - MIR 1	1,55 à 1,75	0,20	30
		TM7 - MIR 2	2,08 à 2,35	0,27	30
		Panchro	0,50 à 0,90	0,40	15
		TM6 - Thermique	10,4 à 12,5	2,10	60

Caractéristiques du capteur ETM+ de Landsat 7 (Sources : [Centre Canadien de Télédétection](#))

Malgré la panne, les images LANDSAT continuent cependant à être distribuées tant bien que mal (voir par exemple le site <http://bsrsi.msu.edu/cgi-bin/access7g.pl> d'où est extrait l'image qui suit, dans laquelle on distingue nettement le lac de retenue du barrage de Petit-Saut –en noir-, les zones défrichées du littoral –en teintes ocre-mauve-, la couverture forestière –en nuances de vert-, ...).



Une des dernières scènes LANDSAT de bonne qualité acquise sur le Guyane (18 oct. 2001)  
(Path/Row WRS2 : 227/57 - Composition colorée RVB : TM5, TM4, TM3)

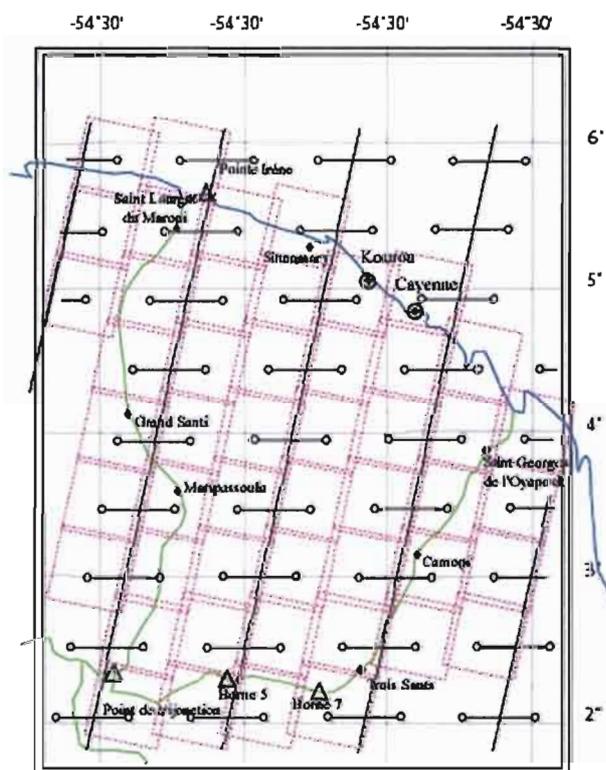
Un autre grand avantage des images LANDSAT est leur incomparable recul historique (de 1972 à nos jours) : une scène MSS des années 70 revêt de nos jours en effet un caractère quasiment historique. Elles présentent également l'avantage de pouvoir travailler en « vraies » couleurs naturelles, en projetant les canaux TM3 (R), TM2 (V) et TM1 (B) respectivement dans les plans RVB d'un logiciel de traitement d'image. Toutefois, et en particulier en Guyane où la végétation est omniprésente, un affichage en « fausses

couleurs » associant les canaux TM5 (MIR), TM4 (PIR) et TM3 (R) dans les plans (R, V, B) permettra de disposer d'une image beaucoup plus lumineuse et nuancée, dans laquelle les différences entre les diverses classes d'occupation du sol seront exacerbés. Les images LANDSAT sont cependant supplantées depuis plusieurs années par les images SPOT. LANDSAT 7, lancé en juillet 1999, est toujours en service et opère en mode dégradé (SLC off) depuis 2003. Les scènes LANDSAT 7 ETM+ sont orthorectifiées. Aucun nouveau lancement n'est annoncé pour l'instant.

### III-3-2-2 Imagerie optique : SPOT (CNES)

Tout comme les satellites LANDSAT, les satellites SPOT sont des satellites héliosynchrones ; ils évoluent à une altitude légèrement supérieure (832 km). Leur durée de révolution est de 101 minutes (14 orbites par jour) et leur cycle orbital de 26 jours. Les scènes SPOT sont localisées grâce au système de repérage GRS (Grille de référence Spot) qui attribue à chaque scène deux repères K et J. La colonne K est orientée parallèlement au défilement du satellite, la ligne J est un parallèle du globe.

La série des « Satellites Pour l'Observation de la Terre » en est également à sa troisième génération avec SPOT 5 lancé le 4 mai 2002 à Kourou. Dès le début de la série, deux instruments optiques à visée latérale réglable et de fauchée égale à 60 km (HRV puis HRVIR puis HRG) ont été embarqués à bord des plateformes, chaque instrument pouvant effectuer des **observations obliques**, jusqu'à +/- 27 degrés de la verticale du satellite en modifiant l'orientation du miroir d'entrée optique. Cette fonction, télécommandée par les stations au sol, permet ainsi d'observer des régions particulières qui ne sont pas nécessairement à la verticale du satellite. La résolution temporelle est alors ramenée de 26 à 4 ou 5 jours pour les régions tempérées, en jouant sur les angles de prise de vue. Le fait que trois satellites de la série soient encore en activité (les modèles 2, 4 et 5) améliore encore la répétitivité des prises de vue qui peut descendre à un jour sur la presque totalité de la planète, ce qui constitue une réelle performance !



Couverture SPOT : 36 scènes approximativement (60 x 60 km) pour la totalité du département

Cette spécificité SPOT permet en outre des prises de vue « large fauchée » (117 km en couplant les deux capteurs avec une inclinaison réduite avec la verticale) et stéréoscopiques (une même scène du mode panchromatique pouvant être prise sous 2 angles différents lors de 2 révolutions orbitales successives ou en mode « tandem » en utilisant 2 des 3 satellites de la constellation). Avec SPOT 5, cette offre est encore améliorée du fait de la mise en service de deux capteurs supplémentaires HRS (Haute Résolution Stéréoscopique) pointant l'un en avant, l'autre en arrière de la plate-forme, rendant possible l'acquisition de couples stéréoscopiques sur la même révolution, 1 minute 30 plus tard.

➤ Historiquement, le premier de la série fut **SPOT 1**, lancé en février 1986. Cette première génération de satellites (SPOT 1, 2 et 3) s'appuyait sur le même couple de capteurs **HRV** (Haute Résolution Visible). **SPOT 2**, lancé en janvier 90, **est encore en service**.

Satellite	Capteur	Bande	$\lambda$ en $\mu\text{m}$	Résolution spatiale (en m)
SPOT 1, 2 et 3	HRV 1 et 2	XS1 - Vert	0,5 à 0,59	20
		XS2 - Rouge	0,61 à 0,68	20
		XS3 - PIR	0,79 à 0,89	20
		Panchro	0,51 à 0,73	10

Caractéristiques des capteurs HRV 1 et 2 des SPOT1, 2 et 3 (Sources : [Spot Image](#))

Les deux capteurs HRV peuvent fonctionner indépendamment ou simultanément en mode multispectral XS (dans les bandes verte, rouge et infrarouge du spectre électromagnétique) ou en mode Panchromatique (une seule large bande dans la partie visible du spectre), chacun balayant une bande de 60 km. La résolution spatiale est de 10 m pour les images panchromatiques et de 20 m pour les images multispectrales.

➤ **SPOT 4** (lancé en 1998) fut équipé d'un nouveau capteur **HRVIR** (Haute Résolution Visible Infra Rouge). C'est la seconde génération de la série SPOT, **toujours en service**.

Satellite	Capteur	Bande	$\lambda$ en $\mu\text{m}$	Résolution spatiale (en m)
SPOT 4	HRVIR 1 et 2	B1 - Vert	0,50 à 0,59	20
		B2 - Rouge	0,61 à 0,68	20
		B3 - PIR	0,79 à 0,89	20
		B4 - MIR	1,58 à 1,75	20
		B2 en Panchro	0,61 à 0,68	10

Caractéristiques des capteurs HRVIR 1 et 2 de SPOT 4 (Sources : [Spot Image](#))

Bien que très similaire aux HRV de la génération précédente (même résolution spatiale, possibilité d'orienter les miroirs), les capteurs HRVIR s'en différencient par :

- l'addition d'une bande spectrale (B4) dans le moyen infrarouge (1,58-1,75  $\mu\text{m}$ ) ;
- le remplacement de la bande panchromatique (0,51-0,73  $\mu\text{m}$ ) par la bande B2 (0,61-0,68  $\mu\text{m}$ ) qui peut fonctionner aussi bien en mode "10 mètres" qu'en mode "20 mètres" ;

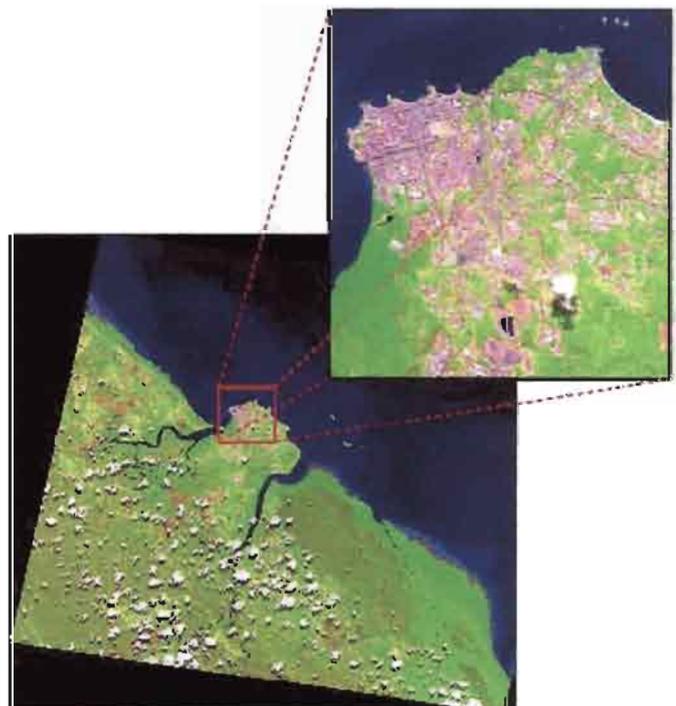
Scène **SPOT** complète **Région Nord-Est**

avec zoom sur l'Île de Cayenne

(K,J : 690, 340) 1<sup>er</sup> juillet 2002 ; composition colorée  
(R : MIR, V : PIR, B : R)

On constate l'emprise au sol beaucoup plus réduite d'une scène SPOT par rapport à la scène LANDSAT précédente.

✓ **SPOT 4** fut également équipé de l'instrument « large champ » **VEGETATION**, dont l'objectif est de fournir de manière opérationnelle des mesures précises sur les principales caractéristiques du **couvert végétal**. Une couverture mondiale quasi-quotidienne et une résolution de 1 kilomètre en font un outil idéal pour observer l'évolution de l'environnement à long terme tant au niveau régional que mondial. **VEGETATION** fonctionne indépendamment du HRVIR. Il comprend un instrument de prises de vue radiométrique grand angle



opérant dans les quatre bandes du spectre (bleu, rouge, proche et moyen infrarouge) avec une résolution de 1 kilomètre. Grâce à une **fauchée de 2 250 kilomètres**, l'instrument couvre en une journée la quasi-totalité des terres émergées.

Bande	Bande spectrale	Résolution
B0	0,43 - 0,47 $\mu\text{m}$	1165m x 1165m
B2	0,61 - 0,68 $\mu\text{m}$	1165m x 1165m
B3	0,79 - 0,89 $\mu\text{m}$	1165m x 1165m
MIR	1,58 - 1,75 $\mu\text{m}$	1165m x 1165m

Caractéristiques du capteur VEGETATION des satellites SPOT 4 et 5 (Sources : [Spot Image](#))

Le capteur VEGETATION de SPOT peut être comparé au capteur AVHRR de la série des satellites météorologiques à défilement NOAA de la NASA dont la fauchée a été fixée à 2700 km. Le capteur AVHRR permet ainsi de couvrir l'intégralité de la planète en une journée avec une résolution spatiale comprise entre 1 et 4 km. 17 satellites ont pour l'instant été lancés dans cette série !

➤ Enfin troisième et dernière génération de satellites SPOT avec **SPOT 5**, lancé en 2002, avec de nombreuses innovations technologiques dont certaines dérivées des satellites militaires de la série Hélios :

- **nouveaux capteurs HGR** « Haute Résolution Géographique »

Satellite	Capteur	Bande	$\lambda$ en $\mu\text{m}$	Résolution spatiale (en m)
<b>SPOT 5</b>	<b>HRG 1 et 2</b>	B1 - Vert	0,5 à 0,59	<b>10</b>
		B2 - Rouge	0,61 à 0,68	<b>10</b>
		B3 - PIR	0,79 à 0,89	<b>10</b>
		B4 - MIR	1,58 à 1,75	<b>20</b>
		PA - Panchro	0,49 à 0,69	<b>2,5 ou 5</b>

Caractéristiques des capteurs HRG 1 et 2 de SPOT 5 (Sources : [Spot Image](#))

Mêmes bandes spectrales que celles de Spot 4. Pour la bande panchromatique par contre, les valeurs ont été fixées à celles qui étaient utilisées pour Spot 1-2-3 (Pan: 0.51-0.73  $\mu\text{m}$ ). Cette caractéristique, demandée par un grand nombre d'utilisateurs, assure une continuité avec les images acquises depuis Spot 1. Les résolutions spatiales, quant à elles, ont été améliorées dans les limites de faisabilité technique, étant donné que la fauchée a été maintenue à 60 km.

- **nouveaux capteurs HRS** « Haute résolution stéréoscopique »

Cet instrument a la capacité d'acquérir des couples d'images stéréoscopiques quasi-simultanées (une minute et demie), ceci représentant un avantage considérable pour la qualité des produits MNT (modèles numériques de terrain). La ressemblance entre les deux images du couple stéréoscopique est en effet maximale.

Caractéristiques:

- bande spectrale: panchromatique (0,51 - 0,73  $\mu\text{m}$ )
- résolution: 10 m, échantillonnage le long de la trajectoire: 5 m
- largeur de la scène (centrée sur la trajectoire du satellite): 120 km ; longueur maximale: 600 km
- angle de prise de vue des 2 télescopes par rapport à la verticale: + et - 20°

- **capteur VEGETATION 2** maintenu à bord pour assurer la continuité d'observation globale.

- **l'instrument embarqué DORIS** qui assure une orbitographie précise, basée sur la datation et la localisation de balises et un senseur stellaire couplé à l'instrument DORIS qui donne une précision absolue de localisation meilleure que 15 m, sans avoir besoin de point d'appui.

### III-3-2-3 Imagerie radar : ERS, ENVISAT (Europe) JERS (Japon) RADARSAT (Canada)

Capteur actif, le « radar » va éclairer artificiellement les objets au sol, dans ce que l'on appelle une « scène de rétrodiffusion », et mesurer l'énergie renvoyée par ces derniers selon le procédé dit du « rebond d'hyperfréquences » à la surface de la Terre. La quantité d'énergie diffusée dépend de l'angle de contact des ondes avec la cible et des propriétés de la surface (nature du milieu, rugosité, humidité) qui vont modifier la portion du signal radar que la cible redirige vers l'antenne; l'absorption des émissions radar dans les couches supérieures du sol étant en particulier différente selon leur teneur en eau, les images radar pourront être exploitées pour fournir de l'information sur leur état hydrique, ce qui est particulièrement intéressant en Guyane où la surface des zones inondées est très variable selon la saison.

Autre avantage, les ondes traversant la couverture nuageuse, les missions radar permettent une observation tout temps et même de nuit, le R.E.M. étant fourni par la plate-forme.

A la différence des capteurs passifs, les bandes sont désignées par une lettre (attribuée lors de la deuxième guerre mondiale !).

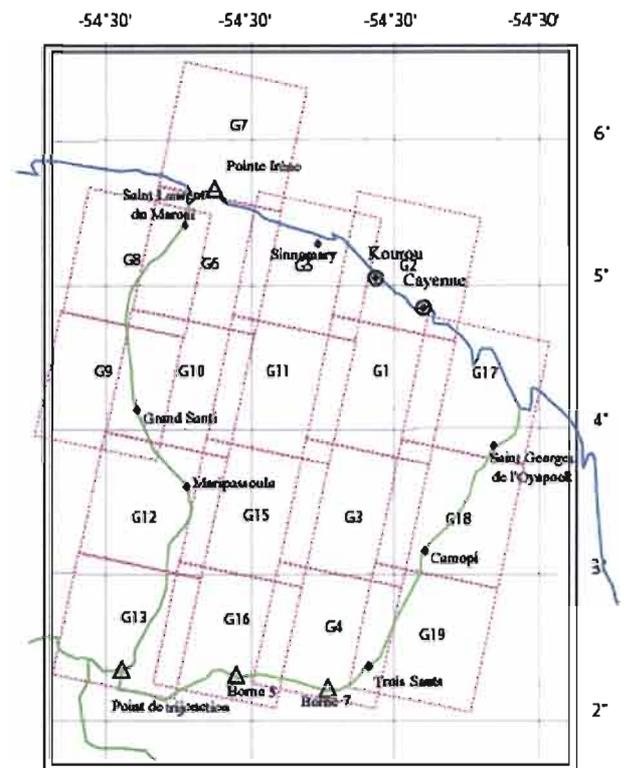
#### Codes, fréquences et longueurs d'ondes utilisés en télédétection radar

Bande	Fréquence	Longueur d'onde
P	0,3 - 1 GHz	30 - 100 cm
L	1 - 2 GHz	15 - 30 cm
S	2 - 4 GHz	7,5 - 15 cm
C	4 - 8 GHz	3,75 - 7,5 cm
X	8 - 12,5 GHz	2,4 - 3,75 cm
Ku (J)	12,5 - 18 GHz	1,67 - 2,4 cm
K	18 - 27 GHz	1,1 - 1,67 cm
Ka (Q)	27 - 40 GHz	0,75 - 1,1 cm

Peu connues du grand public, les missions radar d'observation de la Terre se développent. Le satellite ENVISAT, successeur des ERS-1 (1991) et ERS-2 (1995) a été lancé récemment à Kourou (mars 2002), et ses acquisitions sur le bassin amazonien, et donc la Guyane, seront prochainement accessibles via la station de réception « SEAS X Guyane » en cours de montage.

#### Couverture ERS de la Guyane

Il faut 18 scènes pour couvrir la totalité du département. (fauchée de 80 km en mode SAR-Image)



Extrait d'une scène du satellite JERS montrant l'Île de Cayenne

La plupart des images radar utilisées récemment en Guyane provenaient de deux des satellites cités plus haut (ERS-1 et JERS-1). Selon TSAYEM (2002) l'image JERS permettrait une meilleure discrimination des couverts végétaux et de l'occupation agricole du sol en raison de sa plus grande longueur d'onde (23 cm, bande L, polarisation HH) qui favorise la pénétration à travers la canopée (permettant de distinguer si le sous-bois est inondé ou non) et une réflexion quasi spéculaire des parcelles récemment défrichées. Au contraire, la courte longueur d'onde d'ERS (6cm, bande C, polarisation VV) entraîne une rétrodiffusion peu différenciée au sommet de la canopée et à la surface des abattis.

D'autres expérimentations ont été effectuées à l'aide d'images provenant du satellite canadien RADARSAT-1 qui fonctionne dans la bande C (5,3 GHz / 5,6 cm) en polarisation H-H et qui est l'un des rares satellites à permettre des visées selon des angles différents et le choix d'une grande résolution géométrique (mode fin 10 m) ou d'une résolution plus grossière (100 m).

Pour exploiter davantage le potentiel du radar, plusieurs méthodes ont été proposées par différents auteurs : fusion multibandes, fusion des données radar et des données optiques, **interférométrie radar**.

En Guyane, dans le domaine de l'imagerie radar, l'avenir appartient au satellite ENVISAT. L'instrument radar ASAR embarqué à son bord offre un choix étendu en matière d'angles de visée, de modes d'acquisition (résolution et/ou couverture) et de polarisations ; il est notamment le premier à avoir une double polarisation, caractéristique qui accroît considérablement la définition des surfaces par rapport aux observations antérieures. Le capteur optique large champ MERIS, conçu pour l'observation de la couleur des océans (concentrations en phytoplancton, pollution marine, composition chimique des eaux côtières) permet également l'observation de l'état du couvert végétal, en complément de l'instrument VEGETATION embarqué sur Spot 4 et 5. Enfin, grâce à ses enregistreurs et au satellite relais Artemis, les données peuvent être acquises sur n'importe quel point du globe et sont traitées plus rapidement améliorant ainsi l'accès aux données pour les utilisateurs.

Les données acquises par ces deux capteurs seront normalement mises à disposition de la station de réception « SEAS Guyane » dans le courant de l'année 2006 (convention ESA).

Au niveau des applications « terrestres » les apports d'ENVISAT à la connaissance de notre environnement s'exerceront dans les domaines suivants :

- Topographie de surface
- Caractéristiques de surface des sols
- Humidité des sols en surface et étendue des terres humides
- Déforestation et étendue des zones désertiques

Les observations radar et optiques pour la première fois disponibles en simultané permettront d'améliorer la précision dans la détection globale : repérage des points chauds générés par les feux de forêts, détection de la présence de gaz et d'aérosols, signes spécifiques des incendies de la biomasse à grande échelle. En Guyane de nouvelles applications pourraient être développées, en ce qui concerne en particulier la détection ou la surveillance des sites d'orpillage clandestins en forêt profonde.

	Satellite	LANDSAT	SPOT		ENVISAT	
<b>PLATEFORME</b>	en activité	LANDSAT 7	SPOT 2, 4	SPOT 5	SAR ENVISAT	MERIS
	altitude	705 km	832 km		800 km	
	durée d'une orbite	99 minutes	101 minutes		101 minutes	
	répétitivité	16 jours	26 jours		35 jours variable	3 jours
	heure de passage (UT*)	9 H	10 H 30			
<b>CAPEUR</b>	capteur	instrument optique	instrument optique		instrument radar	instrument optique
	fauchée	185 km	60 km		100/400 km	650 / 1150 km
	résolutions	Multispectral: 30 m Panchromatique: 15 m	Multispectral: 20 m Panchromatique: 10 m	Multispectral: 10 m Panchromatique: 5 m Supermode: 2,5m	30 m 150 m 1000 m	300 m 1200 m
	bandes spectrales	8 bandes Visible: R, V, B, Panchro PIR, MIR1, MIR2 IR Thermique	4 bandes Visible: V, R Panchro PIR	5 bandes Visible: V, R Panchro PIR, MIR	bande C 5,3 GHz, 5,6 cm polarisation HH : VV / HV	15 bandes Visible - PIR 0,39 - 1,04 µm

\* La norme UT a remplacé GMT en 1926 car il existait trop de définitions différentes de l'heure de Greenwich

#### Caractéristiques orbitales et spectrales des satellites LANDSAT, SPOT et ENVISAT.

### III-3-3 Le potentiel en données aéroportées :

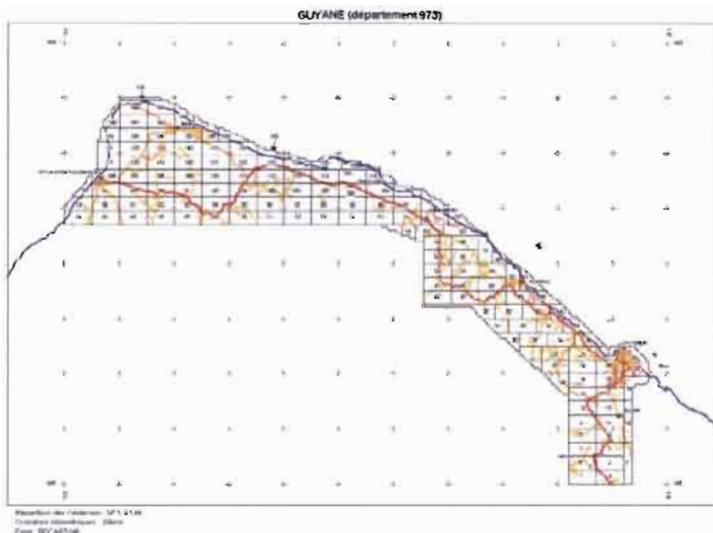
Pour ce qui est des informations recueillies à partir d'avions, les données les plus utilisées ont été celles fournies lors des différentes missions IGN qui se sont succédées de 1947 à nos jours (photographies aériennes en noir & blanc tout d'abord, puis dernièrement photographies couleur corrigées géométriquement ou « orthophotos »). D'autres missions ponctuelles comme CASI (hyperfréquences), ALTOA (laser altimétrique), ont été effectuées ces dernières années. La venue en Guyane

#### III-3-3-1 Les missions IGN :

L'IGN assure en Guyane, via des missions régulières, une permanence dans l'acquisition de photographies aériennes haute-résolution (échelle équivalente au 1 :25 000). Lors de la dernière campagne réalisée (2001) une couverture (partielle) du département a été réalisée avec production d'une base de données d'orthophotos<sup>13</sup> (dite « BD-ORTHO-2001 ») achetée par l'EPAG et mise à la disposition de la « communauté scientifique » présente en Guyane. Ces ortho-photographies constituent un remarquable jeu de données.

Il faut un très grand nombre de prises de vue pour couvrir ne serait-ce qu'une partie de la bande littorale (la plus anthropisée) et les fleuves frontaliers. L'exploitation de cette base de données est facilitée par un outil d'extraction fourni par l'IGN qui permet de récupérer une zone donnée par saisie des coordonnées UTM de ses coins supérieur-droit / inférieur gauche ; les données de géoréférencement pour intégration éventuelle dans un SIG sont fournies avec le fichier résultat. La résolution spatiale est paramétrable, de 50 cm à 10m.

**Plan d'assemblage des données disponibles (mission IGN effectuée en 2001)**



#### Extraction de la BD-ORTHO-2001 de l'IGN



**Abattis récent près de Cacao.** Les troncs sont encore au sol ; on distingue nettement les houppiers des fragments de la forêt primaire encore présente, ainsi que les zones précédemment défrichées et mises en culture.

La résolution spatiale choisie lors de l'extraction de l'image ci-jointe a été ici fixée à 2 m et la colorimétrie (profondeur du pixel écran) à 8 bits (256 niveaux), pour des raisons pratiques (taille du fichier de sortie).

La résolution peut être bien supérieure, de même que la profondeur écran (respectivement 0,5 m et 24 bits / pixel).

La méthodologie et l'outillage à utiliser pour l'exploitation de ce type

<sup>13</sup> photos dont les déformations systématiques ont été corrigées ; ces déformations sont dues à la projection centrale, au relief et au fait que l'axe des prises de vues n'est pas parfaitement vertical. Les orthophotos peuvent être utilisées notamment comme information de base et pour le lever de parcelles.

de données est à imaginer, ainsi que les caractéristiques idéales en termes de résolution spatiale et de profondeur de pixel, selon la problématique (détection d'entités surfaciques entre elles par contraste entre coloration et texture différentes) et la puissance de calcul dont on dispose. Une nouvelle mission IGN est prévue en Guyane fin 2005, avec notamment au programme une couverture complète du fleuve Maroni.

### **III-3-3-2 Les sociétés de service :**



La société SERG assure en Guyane des prestations à la demande dans le domaine de la photographie aérienne...

#### **Ci-contre, une vue du bourg d'Apatou, sur le Maroni (Cliché SERG).**

On distingue le centre du village, des îlots forestiers rémanents et des abattis à différents stades d'évolution.

### **III-3-3-3 Les « moyens du bord » :**

L'IRD a développé à partir de 1997 un système d'acquisition de données vidéographiques « maison » à l'aide d'une caméra numérique à capteur CCD (*Charged-Coupled Device*) et système d'enregistrement VHS (*Vertical Horizontal Synchronization*) embarquée sur un avion de tourisme. Bien que faisant partie de la catégorie des matériels « grand public », le CCD de la caméra est capable de distinguer dans chaque canal d'acquisition (R, V, B) une bande spectrale très étroite (10  $\mu\text{m}$ ) rendant possible l'enregistrement d'infimes variations dans le spectre des ondes émises par les objets avec un bon rendement vis à vis de la quantité de lumière incidente. Il a d'autre part une bonne aptitude à séparer les différentes luminances reçues. La fréquence d'acquisition des images (25 images / seconde) couplée à une résolution spatiale (pouvoir de séparation spatial) suffisamment précise pour travailler avec des pixels de l'ordre de 50 cm permet, par mosaïquage, de réaliser des couvertures aériennes qui peuvent s'avérer intéressantes et économiquement rentables dans l'étude des tissus urbains par exemple. Cette plate-forme, dont la chaîne d'acquisition et de traitement d'images a été validée (Carayon, 2000) constitue désormais une alternative intéressante dans le cadre de missions ponctuelles avec un excellent rapport coût / délai / qualité.

### **III-3-4 Les autres types de données: laser altimétrique, hyperspectrales :**

#### **III-3-4-1 laser altimétrique : société ALTOA**

L'altimétrie laser est actuellement la seule technique permettant des levés topographiques précis à travers un couvert forestier dense. La société ALTOA réalise en Guyane des profils surfaciques par semis de points grâce à un laser scanner hélicopté : possibilité d'obtenir simultanément le modèle numérique de terrain et le modèle numérique de surface (hauteur de la canopée et des objets au sol). Un guidage GPS précis est requis, comme pour toutes les solutions aéroportées. Le problème des coûts sera abordé plus en avant.

#### **III-3-4-2 hyperspectral : CASI**

CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) est un imageur hyperspectral aéroporté, conçu pour acquérir des images dans un grand nombre de bandes spectrales. Le fait d'utiliser un capteur de ce type permet d'obtenir une excellente résolution spatiale (taille de pixel inférieure à 5 m) couplée à une résolution spectrale très fine (plus de 200 bandes fines, regroupables en bandes plus larges) permettant de discriminer des objets selon leurs caractéristiques spectrales. En contrepartie il est nécessaire de voler très bas, ce qui implique des distorsions géométriques importantes, difficiles à corriger (alourdissement des traitements, surtout si la zone d'étude est vaste).

Si les données hyperspectrales CASI présentent deux avantages majeurs liés à leur grande résolution spatiale et à leur richesse spectrale, l'exploitation efficace de leur potentiel nécessite une bonne connaissance du terrain; faute de quoi, toute classification réalisée sur ces données risque de générer des « sous-classes » qu'on ne saura pas expliquer, nommer, et qu'il faudra regrouper. La richesse d'information apportée par CASI est alors superflue puisque le nombre final de classes tendra à converger vers celui des classes discriminées à l'aide de capteurs de plus faible résolution spectrale, comme LANDSAT ou SPOT, mais le bénéfice de la richesse de la détection demeure.

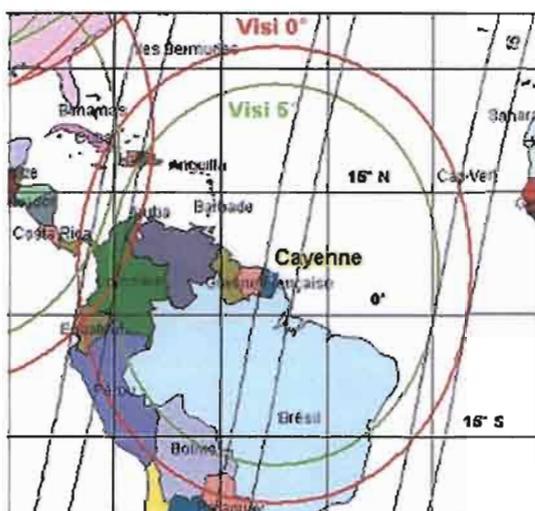
### **III-3-5 Une grande variété de données, mais des conditions d'acquisition délicates**

Ainsi que mentionné plus haut, le ciel guyanais est très souvent ennuagé, parfois massivement. Dans ces conditions, l'acquisition de données optiques de qualité est donc très problématique. Il n'était pas rare, il y a quelques années, étant donnée la faible répétitivité des prises de vue LANDSAT (2 par mois), de n'avoir qu'une scène de qualité acceptable par an sur la Guyane, voire pas de scène du tout. Avec SPOT, étant données les possibilités de visée latérale et l'effet « constellation », la probabilité d'obtention de scènes « correctes » est en théorie bien meilleure. Mais la dimension de la fauchée étant inversement proportionnelle à l'intervalle de temps entre deux observations identiques (dans les mêmes conditions d'acquisition au nadir) la capacité de revisite d'une zone donnée est malgré tout moins bonne avec SPOT (26 jours) qu'avec LANDSAT (16 jours) ou NOAA (une demi-journée). Parallèlement il arrive fréquemment que, hasard de la programmation, les scènes commandées soient de qualité très moyenne, rendant leur exploitation compliquée (application de filtres pour éliminer les nuages avant toute opération de classification sur les données restantes) et frustrante, voire onéreuse (fragmentation de l'information nécessitant un traitement complexe à partir de plusieurs images pour « combler les trous »). Les satellites LANDSAT survolant la Guyane plus tôt dans la matinée (9 H) que les satellites SPOT, leurs scènes présentaient en général un taux d'ennuage inférieur, les nuages de convection ayant moins de temps pour se développer.

### **III-3-6 L'innovation : SEAS X Guyane**

Le projet SEAS X (Surveillance de l'Environnement amazonien Assisté par Satellites haute résolution) est en ce moment (septembre 2005) entré dans la dernière phase de sa réalisation. Ce projet consiste en la mise en place d'une station de réception et de production d'images à partir des données issues des satellites européens d'Observation de la Terre SPOT 2, 4, 5 et ENVISAT. L'antenne de réception est en cours d'installation sur la colline de Montabo, à proximité immédiate de l'IRD à Cayenne et les images seront produites sur place dans les locaux de l'IRD par des ingénieurs SPOT-IMAGE. Les partenaires sont l'IRD, porteur du projet, SPOT IMAGE, exploitant de la station, le CNES, qui héberge l'antenne et autorise l'accès aux données SPOT et l'ESA qui fait de même pour les données ENVISAT. Les choix techniques effectués lors de la conception de cette station de réception laissent ouverte la possibilité de réception future d'autres satellites d'observation de la Terre en plus de SPOT et d'ENVISAT, les équipements étant modulaires et compatibles avec les standards du domaine.

Cette station permettra à terme la constitution progressive et l'archivage en Guyane d'une banque d'images SPOT et ENVISAT concernant l'ensemble du bassin amazonien et une partie de la zone Caraïbe. La communauté scientifique guyanaise ayant la possibilité de bénéficier d'un libre accès à ces données satellitaires dans le cadre de programmes de recherche à condition qu'ils soient validés par un « Comité d'orientation » réunissant les différents partenaires, l'arrivée de cette plate-forme devrait améliorer de manière significative l'approvisionnement en données multi-capteurs / multi-échelles, ouvrant la voie à des initiatives de recherche beaucoup plus ambitieuses, *la densité spatiale de l'information* fournie par les images devenant également *dense dans le temps*, ce qui présente plusieurs avantages : accès rapide aux données, filtrage des nuages sur des séries d'images préalablement recalées, et surtout, introduction du temps dans les modèles radiométriques, rendant possible une description plus fine des phénomènes dynamiques comme la migration des bancs de vase, la déforestation ou la propagation des épidémies.



Les techniques de la télédétection et de la modélisation, auxquelles on peut adjoindre la gestion informatique des informations géoréférencées et les méthodologies associées comme la géomatique, dont les SIG (systèmes d'information géographique) sont les outils privilégiés, devraient permettre le développement d'applications « localisées », avec automatisation d'un certain nombre de traitements laissant le champ libre à une recherche innovante affranchie des limitations de l'époque antérieure. Cela sera intéressant à évaluer dans les années à venir.

### III-4 QUALIFICATION DES DONNEES ; CHOIX DU CAPTEUR ET PRISE EN COMPTE DES SPECIFICITES GUYANAISES

Pour choisir un capteur, l'utilisateur doit tenir compte du double découpage spatial et spectral qui fixe les dimensions au sol des images et leurs caractéristiques spectrales. Il devra également tenir compte des répétitivités offertes par les différentes plate-formes.

#### III-4-1 Prise en compte de la résolution spatiale offerte par les capteurs

La partie optique des capteurs fixe leurs caractéristiques géométriques, qui sont la *résolution spatiale* (capacité de détecter des objets rapprochés au sol) et la *fauchée* (largeur au sol d'une image). Ces grandeurs dépendent du nombre de détecteurs placés dans le plan focal de l'instrument, de leur taille et de la distance focale elle-même; en influant sur la finesse de l'observation au sol, elles rendent ou non possible la détection des phénomènes que l'on cherche à observer.

L'information recueillie par un détecteur à un instant donné dans un canal donné est composite en ce sens qu'elle correspond à la « somme » des réponses individuelles de l'infinité d'objets composant la surface au sol acquise par ce détecteur à cet instant (son champ de vision instantané). C'est cette valeur résultante unique, en général codée sur 8 bits, représentative de la diversité radiométrique au niveau du sol sur la surface<sup>14</sup> considérée, dans un contexte d'éclairement donné, qui sera attribuée au « pixel image » correspondant dans le canal spectral d'enregistrement concerné. C'est dire toute la relativité de l'information qui sera par la suite traitée, sachant que, en télédétection satellitaire civile, la taille usuelle des pixels au sol peut varier de 1 m à plusieurs km ! la difficulté des interprétations, et la nécessité impérieuse de recourir à des reconnaissances sur le terrain pour confronter la réalité à son image.

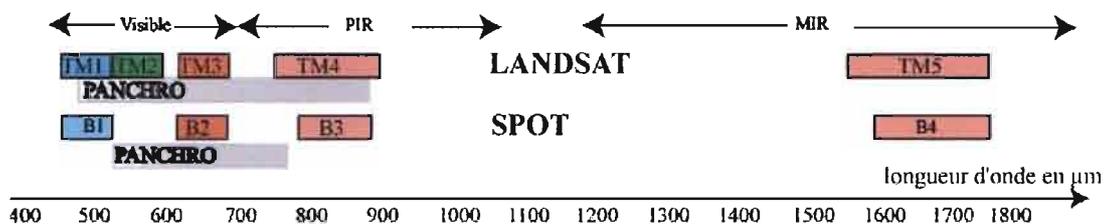
<sup>14</sup> On parle de « tâche-échantillon » ou « tachel » (GODARD). En général, on choisit un pixel de dimension équivalente, mais ce n'est pas obligatoire ; la taille du pixel ne garantit donc pas forcément la résolution spatiale.

### III-4-2 Prise en compte des longueurs d'ondes

Les caractéristiques spectrales correspondent aux différentes gammes de longueurs d'onde (ou bandes spectrales) dans lesquelles les observations seront enregistrées. Les capteurs dits optiques travaillent dans le visible, l'infrarouge, l'infrarouge thermique en enregistrant les réflectances ou les émissions de chaleur des éléments de paysage survolés au niveau de leurs détecteurs élémentaires. On a ainsi plusieurs observations simultanées enregistrées lors du passage d'un avion ou d'un satellite selon le type du capteur embarqué (par exemple 7 bandes pour LANDSAT TM, 8 pour LANDSAT ETM+, 4 pour SPOT HVR, 5 pour SPOT HRVIR, etc.).

Le canal infrarouge est souvent considéré souvent comme étant celui qui possède la plus grande richesse d'information, car c'est entre les bandes rouge et infrarouge du spectre que l'on peut observer les plus grands écarts de réflectance entre la végétation et les sols, c'est à dire dans les canaux (TM3, TM4) LANDSAT et (XS2, XS3) de SPOT.

L'interprétation des bandes rouge et infrarouge en termes d'occupation du sol sera donc relativement aisée, et la présence de ces bandes sur la majorité des capteurs optiques rendra possibles des comparaisons entre différentes sources d'images (réalisation d'images fusionnées multi-capteurs / multi-dates).



### III-4-3 Prise en compte de la résolution spectrale des capteurs

Plus la résolution spectrale du capteur sera fine, plus les fenêtres des différents canaux du capteur seront étroites et permettront en théorie de discriminer des objets « radiométriquement différents » au sol. Mais là également, tout l'art résidera dans le compromis idéal à trouver entre résolution au sol, résolution spectrale et phénomène à décrypter pour accéder à une connaissance pertinente de l'occupation du sol.

Il existe des limites technologiques pour les résolutions spatiales et spectrales. Les contraintes s'opposent, si bien que l'on optimisera l'une au détriment de l'autre.

### III-4-4 Prise en compte de la répétitivité des capteurs

La répétitivité offerte par la plate-forme (dépendante des caractéristiques orbitologiques de cette dernière) fixe la *résolution temporelle*, l'intervalle de revisite de la zone d'étude, lorsque l'on s'intéresse aux changements dans l'occupation du sol par exemple. L'effet « constellation » permet de réduire cet intervalle.

### III-4-5 Importance des missions « terrain »

On comprend dès lors toute l'importance que revêtiront les missions de reconnaissance terrain pour la « validation » des informations télé-détectées lorsqu'il s'agira, et ce sera indispensable, de corréler des types paysagers identifiés au sol avec leur empreinte radiométrique au niveau de l'image. Le travail de terrain devra ainsi être adapté aux spécificités des capteurs pour être vraiment efficace.

Quelle sera la combinaison idéale de canaux projetés dans le plan RVB d'un écran d'ordinateur qui permettra de décrypter de la manière la plus satisfaisante possible la réalité du terrain par photo-interprétation? Faudra-t-il s'aider de néo-canaux ou d'images radar ou encore de photographies aériennes pour caractériser l'espace observé de manière satisfaisante, ou bien une seule scène SPOT 5 le permettra-t-elle? Quels seront d'autre part les traitements informatiques (et sur quels canaux) qui permettront de quantifier de la manière la plus précise les changements dans l'occupation du sol entre deux dates?

### III-4-6 Prise en compte des spécificités de la réalité géographique guyanaise:

Nous avons déjà évoqué le fait que, le ciel guyanais ayant la particularité d'être fortement ennuagé une grande partie de l'année, cette spécificité pouvait avoir une incidence élevée sur le choix du capteur, rendant le recours à des données radar incontournable en cas de non-disponibilité d'images optiques de

qualité correcte (ou en complément à des données optiques), les capteurs radar travaillant dans des longueurs d'onde centimétriques qui leur permettent de s'affranchir de la couverture nuageuse.

Outre cette forte nébulosité, on déplore en Guyane l'absence d'un MNT (les données SRTM ne résolvent pas le problème posé par la canopée, que les ondes radar pénètrent peu) et le géoïde est également très mal connu en Guyane. Le réseau hydrographique quant à lui est complexe, et il manque de points d'appui dans toute une partie du territoire pour calage (SPOT 5 s'en affranchit-il vraiment comme annoncé ? cela dépend en tout cas de la précision recherchée).

Dans ces régions où les paramètres environnementaux atteignent des valeurs extrêmes et dans lesquelles les capacités d'acquisition sont (jusqu'à présent) limitées en termes de cadence pour des raisons orbitales et météorologiques, l'importation de solutions techniques toutes faites, validées ailleurs, est la plupart du temps inadéquate.

La réalisation de mosaïques d'images ou le filtrage des nuages sur un territoire assez vaste (à l'échelle de la Guyane par exemple) sont d'autre part problématiques, la faible répétitivité constituant un handicap sur ces terrains changeants rapidement. Il faut en effet un assez grand nombre d'images pour assurer une couverture totale à une résolution relativement fine.

### III-4-7 Le coût des données de télédétection

Le coût des données de télédétection, c'est à dire leur prix de revient, que ces données soient satellitaires (images SPOT) ou aériennes (ortho-photographies de l'IGN par exemple) est difficile à évaluer à notre niveau de connaissances, mais il est forcément très élevé.

✓ En ce qui concerne les images satellitaires, les investissements à réaliser pour mener à bien toutes les étapes nécessaires à l'exploitation opérationnelle de plates-formes satellitaires d'observation de la Terre comme les satellites SPOT ou ENVISAT sont colossaux (plusieurs milliards d'euros). Ils intègrent en effet les coûts des phases de conception, fabrication, lancement puis mise à poste de la plate-forme sur son orbite auxquels il faut ajouter ceux inhérents à la réalisation des stations de réception au sol ainsi que ceux liés à l'acquisition, au traitement et enfin à la distribution commerciale des images.

✓ En comparaison, les frais que l'IGN aura à engager pour mener à bien une mission aéroportée de photographies aériennes sur le territoire guyanais seront nettement moindres, bien que des campagnes de ce type soient également très coûteuses, puisqu'il faut amener sur place un avion et son personnel (2 pilotes et un photographe) pendant plusieurs semaines. L'IGN assurant là sa mission de service public d'intérêt général, les coûts sont pris en charge par la puissance publique. Pour ce qui est des programmes spatiaux, il en est de même, à la différence qu'ils sont de plus en plus relayés par des budgets communautaires dans le cadre de programmes de coopération européens.

✓ Dans un cas comme dans l'autre, les investissements réalisés ne peuvent de toutes façons être en rien compensés par la vente d'images, même si leur prix peut paraître relativement élevé (voir tableaux ci dessous). Les images SPOT et ERS2 / ENVISAT peuvent être commandées « en ligne » via le catalogue « SIRIUS » (<http://sirius.spotimage.fr/francais/welcome.htm>). Pour la communauté scientifique il existe des tarifs préférentiels via le programme ISIS (« Incitation à l'utilisation Scientifique des Images Spot »).

SPOT			ERS -SAR			ENVISAT - ASAR		
ARCHIVE		PROGRAMMEE	ARCHIVE		PROGRAMMEE	ARCHIVE		PROGRAMMEE
20 m couleur			RAW	400 €	400 €		400 €	600 €
10 m N&B	1 900 €	2 700 €	25 m	400 €	400 €	400 €	600 €	
10 m couleur			150 m	100 €	150 €	100 €	150 €	
5m N&B	2 700 €	3 500 €						
5 m couleur								
2,5 m N&B	5 400 €	6 200 €						
2,5 m couleur	8 100 €	8 900 €						
images standard Niveaux 1A, 1B ou 2A								
Prix spéciaux	SPOT 4	100 €						
"recherche"	SPOT 5	200 €						
(Programme "ISIS")								

Prix de vente standard des images optiques SPOT et ERS / ENVISAT (radar)

✓ Du côté de la couverture photographique aérienne du territoire, l'IGN assure quant à elle ses missions fondamentales de renouvellement périodique et de diffusion de la couverture aérienne de l'ensemble du territoire national ainsi que de constitution et de mise à jour des bases de données géographiques et des fonds cartographiques. A ce titre l'institut organise régulièrement des campagnes de photographies aériennes sur l'ensemble du territoire national (et depuis 1946 en Guyane).

On trouvera ci-contre les prix indicatifs des produits de l'IGN en matière d'imagerie aérienne sur support papier ou numérique.

IGN		
image argentique (8000 x 8000 pixels)	papier (24 x 24 cm)	33,45 €
	numérisé	62,71 €
image numérique (4000 x 4000 pixels)	livrée sur CD ROM	58,53 €
licence monoposte BD-ORTHO pour la Guyane campagne 2001		16 200 €

*Même si les prix de vente de tous ces produits, qu'ils soient « spatiaux » ou « aériens » sont relativement élevés, ils ne sont en rien à la hauteur de leur coût réel (celui des investissements réalisés) qu'ils ne permettront jamais d'amortir, surtout pour le spatial.*

La recherche de rentabilité n'est en effet pas à l'origine du développement de l'activité spatiale en France. Il faut plutôt y voir une décision purement politique d'affirmation de son indépendance et de sa souveraineté dans un secteur sensible éminemment stratégique et symbolique où la maîtrise technologique côtoie la démonstration de puissance.

A la lumière de ces quelques informations, on mesure tout l'intérêt de la « nouvelle donne » créée localement en Guyane par le déploiement de la station de réception « SEAS » qui va donner aux membres de la communauté scientifique guyanaise un libre accès aux images SPOT / ENVISAT, faisant de fait tendre localement le prix de ces précieuses images vers zéro. A l'heure où le principal concurrent en matière de fourniture de données optiques haute résolution, LANDSAT, traverse une mauvaise passe la disponibilité de ces images constitue une réelle opportunité pour la recherche en Guyane.

Cependant, les données SPOT / ENVISAT ne couvrent pas tous les besoins. Des photographies aériennes très haute résolution (taille du pixel de l'ordre de 20 cm, voire moins) peuvent se révéler fort utiles en milieu urbain / péri-urbain (voir l'exemple du lotissement « ENSEMBLE » page 15 de ce rapport) pour suivre l'évolution fine de l'habitat et du parcellaire, à des fins de recensement des populations, tout autant qu'en milieu rural comme dans l'Ouest Guyane pour identifier les surfaces récemment défrichées avec certitude et la structuration paysagère qui se met en place. Les ortho-photos du type de celles offertes par la société SERG seront alors un excellent recours, à un prix cependant élevé : 2000 euros pour une mission d'acquisition d'une bande d'images de 4 / 5 clichés couvrant quelques km<sup>2</sup>, une centaine d'euros pour un cliché déjà archivé sous format numérique. Le niveau de prix élevé de ces images justifierait l'intérêt de la mise au point d'un outil « maison » de télédétection aéroportée (Cf. réalisations LRT et aussi GEODE – Thèse de J.F. Galtié), le coût de réalisation d'un modèle numérique de terrain (société ALTOA) se situant dans la même gamme tarifaire (2000 Euros / km<sup>2</sup>, avec des prix dégressifs selon la surface traitée).

*Ici par contre la vente de la prestation finance le coût des images, ce qui fait de cette activité une activité rentable.*

L'évolution des « performances » en matière de résolution spatiale annoncée pour les futurs satellites d'observation de la Terre (« Pléiades », successeur du programme SPOT) sera à tous ces titres intéressante à suivre dans un avenir pas si lointain (à l'horizon 2008).

### III-5 QUALIFICATION DES TRAITEMENTS (BOITE A OUTILS NON EXHAUSTIVE) :

#### III-5-1 Les pré-traitements

Ils ont un double objectif : 1. Corriger les défauts (accidentels ou systématiques) ; 2. rendre l'image compatible à un cahier des charges.

##### III-5-1-1 *Les corrections* (voir en annexe I l'exemple des pré-traitements SPOT-Image)

✓ *les corrections géométriques* : elles concernent l'élimination des distorsions liées aux conditions de prise de vue, la correction de l'erreur de localisation due aux variations du relief et de l'angle de prise de vue.

✓ *les corrections radiométriques* : elles comprennent la correction des bruits dus aux capteurs ou des problèmes causés par l'atmosphère et la conversion des données afin qu'elles puissent représenter précisément le rayonnement réfléchi ou émis mesuré par le capteur ;

✓ Pour les images radar, le filtrage du chatoiement<sup>15</sup> (ou *speckle*) qui diminue la lisibilité des images, en leur donnant un aspect granuleux « poivre et sel », est impérative. On opère généralement par « filtrage spatial » à l'aide de filtres spéciaux développés à cet effet.

##### III-5-1-2 *Le géoréférencement des images*

Le géoréférencement consiste à délimiter précisément par des coordonnées cartographiques (ou géographiques) les images. Il doit prendre en compte les *spécificités géodésiques guyanaises*. La mission IGN de 1995 a permis de mettre en place un nouveau réseau géodésique français de la Guyane (RGFG95) basé sur un canevas GPS de 26 points. Les images SPOT et LANDSAT sont la plupart du temps géoréférencées selon le système géodésique WGS 84 associé à l'ellipsoïde GRS80 et utilisent la projection UTM 22 (Universal Transverse Mercator fuseau 22 Nord). Lors de l'intégration éventuelle dans un SIG, il y aura incompatibilité entre ces coordonnées planes et celles des cartes IGN ou du plan cadastral qui en Guyane utilisent également la projection Transverse Mercator mais sur un autre ellipsoïde (Hayford 1909) associé à un autre référentiel CSG67. Des transformations seront à faire, soit dans un sens, soit dans l'autre, ce qui ne pose pas de problème dans les principaux logiciels SIG du marché. Une rectification (ou géocodage) succède en général au géoréférencement. Cette opération a pour but de rendre les images superposables aux autres couches d'information utilisant des systèmes de géoréférencement (référentiel, ellipsoïde) et de projection identiques dans un système d'information géographique par exemple, ou dans un logiciel de traitement d'image lorsqu'il s'agit de réaliser des fusions d'images multi-dates / multi-capteurs.

#### III-5-2 Traitements de base : caractérisation des éléments d'occupation du sol

##### III-5-2-1 *approche analogique : combinaison de canaux et photo-interprétation visuelle*

Cette méthode consiste en une lecture directe des images (photo-interprétation visuelle). Les données acquises ne sont pas directement exploitables telles quelles, chaque canal étant une grille de points codés en général sur un octet (256 niveaux) observable par défaut en niveaux de gris. Pour se rapprocher d'une photographie traditionnelle, on combine trois canaux que l'on affiche simultanément dans les trois plans (R, V, B) de manière à obtenir une « composition colorée ». On recherchera la combinaison de canaux susceptible de discerner au mieux les différents éléments de l'occupation du sol, en s'appuyant sur la teinte, la forme et la taille des objets.

---

<sup>15</sup> effet causé par l'interférence aléatoire des ondes électromagnétiques réfléchies par les cibles élémentaires réparties dans une même cellule de rétrodiffusion.

### III-5-2-2 *néo-canaux (NDVI, ACP, ...)*

Pour avoir encore plus de renseignements sur les objets observés, il est parfois indiqué de passer par la création de nouveaux canaux. Un *néo-canal* est "une opération arithmétique entre canaux destinée à mettre en évidence certaines caractéristiques du paysage de manière plus nette que les images d'origine" (Polidori, 1998). Les plus utilisés sont l'indice de végétation, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et l'indice d'humidité foliaire, NDWI (Normalized Difference Water Index) qui nous renseignent, respectivement, sur la présence de végétation et d'humidité foliaire.

✓ L'indice de végétation se calcule grâce à la formule :  $NDVI = (PIR - Rouge) / (PIR + Rouge)$

Compris entre -1 et +1, cet indice n'a pas de sens physique mais constitue un bon indicateur de l'activité chlorophyllienne. Plus il y a d'activité chlorophyllienne, plus sa valeur est importante et donc proche de 1.

✓ L'indice d'humidité foliaire se calcule à partir de la formule :  $NDWI = (PIR - MIR) / (PIR + MIR)$

Il est également toujours compris entre -1 et 1. Plus il y a d'eau contenue dans les feuilles, plus la valeur du NDWI augmente. Le NDWI est également sensible à l'augmentation de densité de végétation et à l'humidité dans le sol (Gond et al., 2004).

L'analyse en composantes principales se déroule selon les méthodes statistiques traditionnelles, la particularité de leur application à la télédétection résidant dans le très grand nombre de données à traiter (les pixels). Les composantes résultent d'une combinaison linéaire des canaux d'origine, les coordonnées des nouveaux axes étant calculées à partir des moyennes, variances, covariances entre les canaux d'origine. Les nouveaux canaux sont décorrélés, chacun apportant une information différente.

### III-5-2-3 *filtres et masques*

En Guyane, où la nébulosité est importante, les nuages sont des éléments perturbateurs dans l'analyse des données. On les élimine en créant des masques adaptés qu'on applique à l'image. Cette méthode passe par l'établissement de valeurs de réflectance seuils afin que le logiciel de traitement d'image puisse identifier tous les pixels comprenant les objets voulus. La mise au point d'un masque peut être un travail de longue haleine : il faut chercher parmi tous les canaux celui qui est le plus appropriés pour la discrimination de l'objet à filtrer et à quel seuillage afin d'en estimer le contour et ainsi le soustraire à l'analyse spatiale. La densité des nuages n'étant pas forcément la même d'une image à l'autre, les seuillages pourront être différents. Cette technique du seuillage peut également être utilisée pour discriminer des abattis, mais les stades culturels étant différents d'une image à l'autre, le même abattis sera discriminé avec des seuillages différents dans l'une et l'autre image.

### III-5-2-4 *classifications*

L'objectif général des classifications est de traduire des informations spectrales en classes thématiques propres au thème traité (classes d'occupation du sol : forêt, eau, sol nu, etc.) en réalisant une segmentation de l'image ; une *classe* est un ensemble de pixels possédant des caractéristiques semblables mais pas forcément contigus spatialement. Les stratégies sont multiples : approches par *pixel* (analyse multi-spectrale, segmentation d'indice) ; approche par *zone* (détection de contour, texture) ; approche par *objet* (analyse morphologique, détection de formes).

Pour déterminer la *ressemblance* d'un pixel avec une classe, donc sa possible appartenance, on utilise les critères de distance (euclidienne, pondérée, ...) ou de probabilité. Les critères d'attribution d'un pixel à une classe donnée sont établis par une fonction discriminante qui décidera de l'appartenance ou non du pixel. La démarche de classification est constituée de 3 étapes :

1. Etablissement de classes de signatures ou classes spectrales ;
2. Classification des pixels de l'image en fonction des classes de signatures ;
3. Vérification de la classification.

La manière d'établir les classes de signatures détermine deux grandes approches :

1. l'approche non dirigée (*non supervisée*) : pas de connaissance a priori, les classes sont créées automatiquement par le logiciel : les classes sont nommées, « étiquetées » a posteriori lorsque c'est possible ;
2. l'approche dirigée (*supervisée*) : les connaissances a priori sont utilisées pour la création des classes qui sont définies préalablement à la classification. Les étapes du traitement sont les suivantes : saisie d'échantillons et classification sur des zones d'entraînement, puis extension de la classification à toute la

zone d'étude suivie d'une évaluation a posteriori par une *matrice de confusion* (comparaison du résultat avec des *zones de test ou de validation* indépendantes des zones d'entraînement).

Dans certains cas, l'utilisation de la logique floue, qui offre la possibilité de moduler la notion d'appartenance à une classe (par la définition de « degrés » d'appartenance) permet d'envisager un traitement plus nuancé de toutes sortes de problèmes en prenant en compte le côté en quelque sorte flou du milieu naturel ou anthropisé.

### **III-5-3 Méthodes d'analyse spatiale appliquées à la détection des changements :**

Les méthodes de détection des changements se regroupent en deux catégories suivant que la finalité recherchée est la visualisation simple des changements et/ou la quantification de leurs impacts. On distinguera les traitements qualitatifs des traitements quantitatifs (Tsayem, 2002).

#### ***III-5-3-1 Méthodes de traitement qualitatifs :***

Elles servent à mettre en évidence et à identifier visuellement les endroits ou les états de surface ont subi des transformations au cours d'un intervalle de temps donné. On passe soit par des techniques de combinaison ponctuelle (pixel à pixel) de soustraction / division d'images ou encore de conception de vecteurs de changements entre images multidates, soit par des techniques de combinaison globale (compositions colorées de canaux bruts ou de néo-canaux issus d'images acquises par le même capteur à des dates différentes ou par des capteurs différents : on parle de *fusion* d'images). Ces dernières techniques sont très utilisées (SELLERON, TSAYEM). On leur associe en général des méthodes complémentaires comme l'analyse en composantes principales (ACP) ou la transformation des compositions colorées RVB en couches d'Intensité, Teinte, Saturation (ITS). Toute la difficulté repose sur l'interprétation des nuances de couleurs matérialisant les changements dans l'état des surfaces.

#### ***III-5-3-2 Méthodes de traitement quantitatifs :***

Elles ont pour but de mesurer l'ampleur des changements exprimée en termes de superficies ayant subi les modifications d'état de surface. Les statistiques rendant compte de ces changements sont issues de classifications d'images réalisées soit sur des compositions colorées, soit sur des néo-canaux.

Il existe deux variantes : les classifications synchronisées ou conjointes réalisées sur des compositions colorées multidates de canaux bruts ou de néo-canaux d'images multidates et les classifications disjointes ou séparées réalisées en comparant les résultats de classifications séparées effectuées sur des images multidates de la même scène. L'efficacité de la détection des changements dépend dans ce cas de la qualité des classifications indépendantes qui sont ensuite juxtaposées.

#### ***III-5-3-3 Fiabilité des méthodes ; automatisation***

Une bonne interprétation des résultats passe par une bonne connaissance du terrain et des mécanismes qui sous-tendent les changements radiométriques imputés aux modifications des états de surface. En milieu tropical, les classifications disjointes paraissent appropriées (Tsayem, 2002).

L'automatisation des traitements débouche sur de nouvelles méthodes de détection et de quantification des changements (systèmes experts, ondelettes et fractales, généralisation spatio-temporelles).

### III-6 LES CHAMPS D'APPLICATIONS RECENTS DE LA TELEDETECTION EN GUYANE : TOUR D'HORIZON ET AVANCEES METHODOLOGIQUES

#### III-6-1 Introduction et recentrage théorique

Notre préoccupation principale est la spécification d'un observatoire axé sur la détection des changements dans les différentes formes d'occupation du sol (étendue, contours, caractéristiques revêtues par ces formes d'occupation et leurs évolutions dans le temps) sous l'effet conjugué des processus naturels spontanés qui les gouvernent et des interventions humaines qui les modifient. Dans ce qui suit, et suivant PAEGELOW (2004), l'occupation du sol en un lieu et à un moment donnés sera considérée comme un indicateur pertinent d'une combinaison de facteurs naturels (substrat, relief, climat, végétation) et d'activités humaines (que les sociétés déploient dans l'espace, et auxquelles l'occupation du sol réagit avec une certaine inertie).

Les bandes spectrales et infrarouge des capteurs optiques, ainsi que les longueurs d'ondes des imageurs radar utilisés ces dernières années en Guyane se sont révélées particulièrement intéressantes en matière d'observation du territoire, domaine que l'on ramène en général à deux concepts : l'occupation du sol (la couverture) et l'utilisation du sol (son affectation, sa fonction). Dans la mesure où nous cherchons à rendre compte des dynamiques territoriales guyanaises contemporaines, cette dichotomie est quelque peu encombrante. Nous lui préférons l'approche paysagère, le concept de paysage ayant l'avantage d'intégrer des faits qui relèvent du milieu naturel (la topographie par exemple) et d'autres qui ressortissent de l'utilisation sociale de l'espace (BERINGUIER, 1999). Notre objectif n'est pas seulement en effet de nous intéresser à la forme –les différents types que revêt l'occupation de l'espace en Guyane et leurs changements-, mais de les relier autant que faire se peut au fond -aux acteurs à l'origine de ces changements- dans un souci de complétude.

A ce titre, un « état constaté » d'occupation du sol en un lieu et à un moment donnés sera pour nous à révélateur de la succession la fois des différentes traces (empreintes) laissées par les actions humaines en ce lieu ainsi que des différentes formes revêtues par les réactions du milieu à ces incursions ou permanences humaines. Le territoire<sup>16</sup> sera considéré comme un **traceur** des phénomènes sociaux, ces derniers pouvant être indirectement observés à la condition d'utiliser les capteurs adéquats.

L'apparente incompatibilité entre une approche « par le haut », la vue verticale de l'espace propre à la télédétection, et la vision horizontale de cet espace qui est celle de l'analyse paysagère ne constitue pas pour autant un obstacle rédhibitoire. En effet, pour comprendre le paysage, il faut comprendre le jeu des acteurs, leurs usages et pratiques, leurs emprises territoriales, les conflits et enjeux qui les animent et les rapports qu'ils entretiennent avec l'espace. Si le paysage en tant que tel ne peut être cartographié, l'extension spatiale des unités paysagères préalablement identifiées sur le terrain pourra elle l'être, et ce résultat est déjà en lui même intéressant. La télédétection associée aux capacités analytiques des systèmes d'information géographiques peut nous aider à le faire. Parvenir à réaliser une typologie fine des paysages urbains, ruraux et forestiers de Guyane, représenter leurs extensions spatiales respectives, approcher leurs dynamiques par la modélisation de leurs « surfaces de contact », frontières mouvantes entre espaces forestier/rural/urbain, autant de résultats dont aménageurs et décideurs aimeraient bien disposer, surtout s'il sont régulièrement mis à jour...

#### III-6-2 petit rappel historique

Les premiers travaux de télédétection menés en Guyane l'ont été à partir de la fin des années 80 (LOINTIER et PROST) sur des problématiques amazoniennes par des équipes de recherche de l'ORSTOM, aujourd'hui IRD, qui ont mis au point des méthodes et réalisé des cartes à partir de données de satellites. Elles ont permis de caractériser les dynamiques du littoral, cartographier les forêts dégradées, suivre les dynamiques urbaines, cartographier les zones humides et leurs formations végétales spécifiques, etc.

Au travers de ces projets pilotes, la télédétection est apparue comme l'outil incontournable pour cartographier le territoire guyanais et comprendre les dynamiques des paysages et des phénomènes amazoniens.

Le manque de données a cependant cantonné ces techniques au monde scientifique sans que l'on puisse, malgré les résultats de certains travaux, préconiser ces approches pour une aide opérationnelle à la gestion du territoire. Des démonstrations de faisabilité locales ont été réalisées, des difficultés ont été abordées et résolues, mais une intégration resterait à faire...

<sup>16</sup> contraction de « terre » et « histoire »

### III-6-3 Les principaux résultats obtenus:

#### III-6-3-1 Télédétection et occupation du sol / paysages / végétation :

L'étude de l'occupation du sol consiste en l'observation de phénomènes très complexes pour laquelle un capteur ne peut être choisi aussi facilement. Des travaux portant sur la caractérisation de l'occupation du sol par télédétection sur quelques sites ruraux de Guyane ont été entrepris par le LRT à la demande de l'EPAG. Deux capteurs ont été utilisés pour ces travaux : la vidéo, compatible avec des échelles du 1 :1000 au 1 :5000 ; l'imagerie SPOT, compatible avec des échelles du 1 :50.000 au 1 :100.000. La cartographie de l'occupation du sol a été réalisée en appliquant un algorithme de classification supervisée. Un certain nombre de zones ont été identifiées dans les images et caractérisées par leurs propriétés spectrales. Un certain nombre de cartes de l'occupation du sol ont été produites (1999).

Dans la même veine, une thèse portant sur « la Caractérisation et le suivi de la déforestation en milieu tropical par télédétection appliqué aux défrichements agricoles en Guyane et au Brésil » a été soutenue en 2002 par Moïse TSAYEM (Directeur J.-M. FOTSING, Codirecteur L. POLIDORI). Une stratégie pour la surveillance de l'environnement forestier amazonien par télédétection a été proposée.

L'apport possible de la télédétection pour la surveillance de l'occupation du sol en Guyane française a été évalué dans le cadre de l'édition d'un ouvrage collectif « Le Mercure en Amazonie » édité par l'IRD en 2002 et le potentiel de la télédétection pour la surveillance de l'orpaillage a été testé par GOND (2005) dans le cadre d'une convention de consultance institutionnelle IRD - Conseil Régional de Guyane. Une méthode a été proposée basée sur l'utilisation des contrastes entre l'objet observé (le site d'orpaillage) et son environnement (la forêt) en utilisant des néo-canaux (NDVI, NDWI) combinés avec la bande spectrale MIR d'images SPOT 4. Cependant, le passage de ce travail du stade « étude pilote » réalisée dans un contexte scientifique par des scientifiques, à un stade vraiment « opérationnel », reproductible par un technicien sur toute l'étendue du territoire n'a été ni prototypé ni testé.

Depuis peu, dans le cadre notamment de l'Institut Français de la Biodiversité (IFB), des études sont menées tendant à relier données « terrain » et images de télédétection satellitaire au moyen de « modèles paysagers » qui seraient utilisés comme interface entre les paysages observés sur le terrain, les images de satellites et l'analyse des dynamiques spatiales de l'espace étudié (LAQUES, 2004).

#### III-6-3-2 Télédétection et littoral :

Le long du littoral guyanais, phases d'envasements et d'érosion se succèdent, modifiant le trait de côte de manière parfois spectaculaire. En zone urbaine littorale, comme à Montjoly dans l'Île de Cayenne de telles variations morphosédimentaires, souvent imprévisibles, posent des problèmes en termes d'aménagement. Si l'on ne peut pas prévoir les phénomènes, dans l'état actuel des connaissances, on peut par contre les analyser pour chercher à les comprendre. De nombreux travaux consacrés à l'étude des dynamiques du littoral amazoniens sont menés de longue date par l'IRD en Guyane en coopération avec plusieurs organismes de recherche brésiliens et les Universités des Etats d'Amapa, du Para et du Maranhão dans le cadre du réseau ECOLAB.

Les actions scientifiques les plus marquantes ont été réalisées dans le cadre du « Programme National sur l'Environnement Côtier » (PNEC, 1999-2003) dont l'objectif était d'étudier le comportement sédimentologique des gigantesques bancs de vase évacués par l'Amazone, et repoussés vers les côtes de la



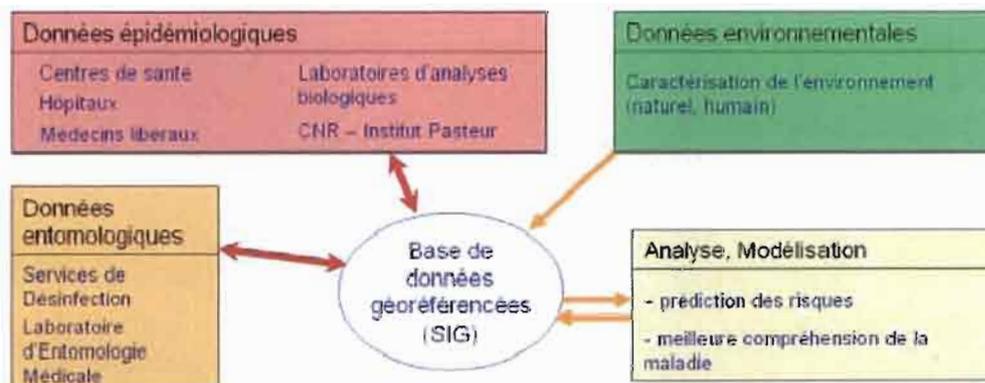
Guyane, qui a donné lieu à de nombreuses publications ; la thèse de Antoine GARDEL (2000) et la convention CSG-IRD sur l'envasement de la côte guyanaise entre Macouria et Kourou. Plusieurs ouvrages collectifs et de nombreuses publications sont parues. Dernièrement (décembre 2004) se tenait à Cayenne le 7<sup>ème</sup> congrès international « ECOLAB » avec la participation de 150 chercheurs des pays concernés.

Ci-dessus : Problèmes fonciers engendrés par la dynamique côtière en Guyane : Parcelles du cadastre superposées à une image aérienne de la plage de Montjoly (Gardel, 2000).

### III-6-3-3 Télédétection et Epidémiologie :

L'idée est ici d'utiliser la télédétection dès que l'environnement est soupçonné de jouer un rôle dans l'épidémiologie. Cette problématique a été testée depuis plus de vingt ans, mais elle s'est avérée peu reproductible. Des travaux ont été menés récemment en Guyane par l'IRD en coopération avec l'Institut Pasteur. Une thèse a été soutenue récemment (décembre 2004) par Annelise TRAN dont l'intitulé est : « Modélisation de la dynamique de populations d'insectes et application au contrôle de maladies à transmission vectorielle ».

Le travail entrepris vise à modéliser la dynamique spatiale et temporelle d'une maladie à transmission vectorielle comme la dengue à partir de données environnementales extraites d'images de télédétection. Un modèle de diffusion, basé sur des données entomologiques et sur des paramètres environnementaux issus d'une image satellitale est proposé pour décrire la dynamique des moustiques vecteurs de la maladie. Un système d'équations différentielles permet ensuite de décrire les processus de transmission entre les hôtes et les vecteurs. Les modèles de la diffusion des populations d'insectes et de la dynamique de maladies vectorielles sont appliqués sur différents exemples (zones géographiques, insectes vecteurs, maladies) afin d'illustrer et valider la méthode. Un système de surveillance intégrant les outils géomatiques à différents niveaux (recueil des données, analyse, modélisation, aide à la décision est finalement proposé). Ce travail est réalisé pour le cas de la dengue en Guyane mais avec la volonté de développer une méthode générique, transposable à d'autres contextes épidémiologiques et géographiques. L'approche développée permet d'imaginer de nouvelles applications de la télédétection à l'épidémiologie.



**Rôle du système d'information géographique dans un projet de surveillance de la dengue en Guyane (TRAN, 2004)**

Un nouveau projet de recherche « Ecologie, Dynamique & Evolution des Maladies Infectieuses en Bassin Amazonien » est en cours dans le cadre du « Programme Amazonie » du CNRS Guyane.

### III-6-3-4 Télédétection et climat :

Peu de travaux ont été menés encore en Guyane, mais la demande existe. L'impact éventuel de la déforestation qui gagne certaines régions sur le régime des pluies notamment demanderait à être évalué à une échelle continentale. A. TRAN, dans son doctorat cité plus haut a abordé le problème. Les images NOAA acquises quotidiennement à Cayenne depuis 6 ans au niveau de la « Station Bande L » installée au niveau du LRT de l'US Espace IRD pourraient être mises à contribution dans le cadre d'une étude sur le climat au niveau de l'ensemble de la Guyane et au delà du plateau des Guyanes.

### III-6-4 Comment aller plus loin ? la perspective d'un Observatoire

Les résultats et avancées méthodologiques obtenus lors des nombreux travaux menés précédemment en Guyane, que nous avons brièvement énumérés sans pour autant les citer tous, plaideraient pour leur consolidation dans un outil intégrateur commun qui soit régulièrement actualisé pour être mis à la disposition des différents gestionnaires du territoire guyanais tout autant que du simple citoyen.

Toutes les thématiques envisagées s'inscrivent dans la problématique générale « télédétection et démographie » en ce sens que les dynamiques démographiques (naturelles, migratoires, ) du fait de leur grande ampleur, de leur caractère « imposant » en Guyane (REINETTE, 2005) impactent un territoire encore peu anthropisé et aménagé et, localement, y inscrivent une empreinte assez facilement détectable grâce aux produits de télédétection aérienne ou spatiale pour peu qu'on se donne la peine de les observer avec le bon capteur, et à la bonne échelle d'observation.

En matière de surveillance de l'environnement, la télédétection permet de mettre à jour la connaissance de l'occupation du sol mais aussi de fournir des supports de communication, voire des « pièces à conviction », ce qui tend à limiter les polémiques et incompréhensions qui prennent leur source dans des cultures ethniques ou professionnelles différentes (POLIDORI, 2001).

#### IV-1 L'OUTIL « OBSERVATOIRE » ET SES OBJECTIFS :

##### IV-1-1 Principe :

On se propose d'imaginer un *protocole* aussi fluide que possible d'approvisionnement et de diffusion de l'information spatiale relative aux diverses formes d'occupation du sol en Guyane et à leurs évolutions qui puisse répondre aux besoins exprimés par les acteurs de l'aménagement / développement du territoire au sens large, en s'appuyant sur des données de télédétection de différentes natures. L'ambition de l'outil est d'aider à la décision en matière de définition de politiques de développement sur le moyen/long terme qui tienne compte des spécificités guyanaises (outil d'aide à la planification) mais aussi sur le court terme du fait de sa capacité à produire dans de brefs délais une information précise dans une thématique donnée .

##### IV-1-2 Objectif :

L'objectif est de pouvoir répondre aux besoins exprimés par les acteurs de l'aménagement du territoire en spécifiant une « forme d'organisation » capable de surveiller l'environnement et de détecter tout type d'emprise sur le milieu naturel (piste, crique orpaillée, carrière, abattis, zone habitée, etc.) avec une cadence d'observation déterminée (dite « de routine »). Toute modification notable (seuil à fixer) par rapport à l' « état précédent » d'une des formes d'emprise détectée doit pouvoir faire sortir le système du mode « routine » pour générer une séquence d'opérations (y compris la commande d'acquisition d'images haute résolution si nécessaire) susceptibles de mieux renseigner sur les modifications en cours (nature exacte, emprise précise, risques encourus...).

Ainsi, la conception de l'Observatoire passe à la fois par la mise au point de traitements qui puissent renseigner des « indicateurs » jugés pertinents au niveau des problématiques évoquées précédemment (mais auxquelles pourront éventuellement se greffer d'autres) à savoir santé, biodiversité, foncier, climat,... c'est à dire la « fabrication » de données sur l'environnement et, d'autre part, par la définition de moyens d'acquisition / stockage / diffusion de ces données (comptes-rendus d'alarme, bulletins, site Internet).

L'objectif est de dépasser l'organisation « artisanale » du travail propre aux études ponctuelles (« au coup par coup ») menées par les chercheurs pour parvenir à une organisation et à un fonctionnement plus conformes à ceux d'une entreprise pérenne.

## IV-2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :

### IV-2-1 Schéma de principe général:

Dans chacune des thématiques considérées comme devant être abordées :

#### a) Imaginer un « fonctionnement de routine »

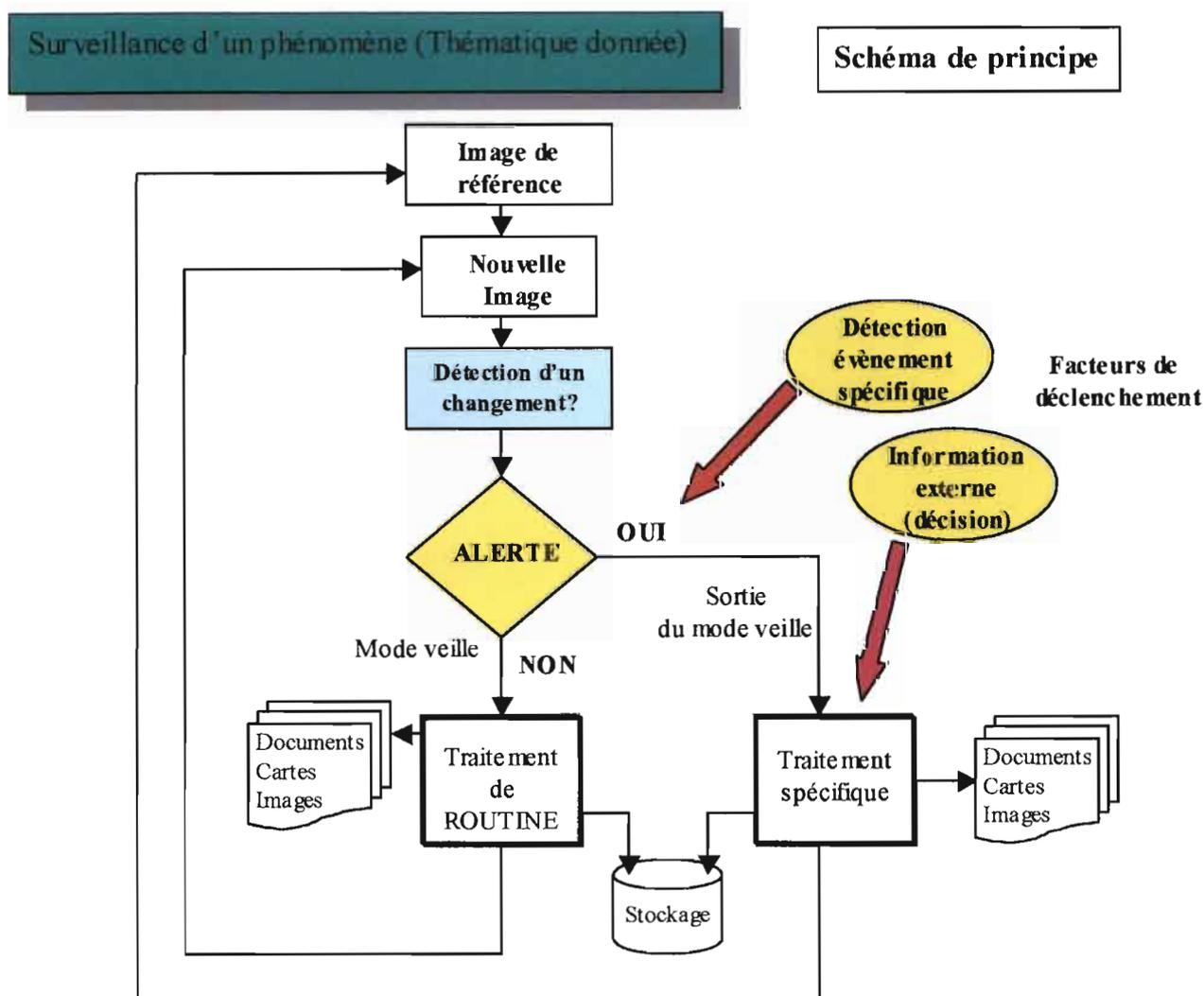
(qui boucle sur lui-même avec une fréquence qui lui est propre)

pouvant s'appuyer sur une connaissance « à priori » qui définit des priorités spatiales et temporelles.

- ⇒ Spécification d'une veille de routine jusqu'à « événement » (facteur déclenchant)
- ⇒ Spécifier l'événement à détecter
  - Opérations à réaliser en routine
  - Documents à produire, pour qui ?

#### b) spécifier le changement à détecter et tester son apparition

La « détection du changement » peut être soit le résultat d'une observation humaine (photo-interprétation sur les données de télédétection) soit d'un traitement automatique à concevoir (avec un seuil à fixer pour la sortie ou non du mode routine). Eventuellement, plusieurs niveaux de « réaction » du système Observatoire peuvent être programmés pour une thématique donnée selon le « caractère » du changement détecté.



### c) *Prise en compte du changement (l'évènement en question)*

- ⇒ Sortie de boucle
- ⇒ implications :
  - en terme de traitements à réaliser (programmation et traitement spécifiques)
  - en terme de documents à produire, pour qui ?
  - en terme de déclenchement d'achat d'image ou de programmation au niveau de la station de réception
- ⇒ retour à la boucle après réinitialisation au « nouvel état »

La mise au point du système passe par la définition :

- ✓ de procédures de détection de changement propres à chaque thématique (reconnaissance de formes, de caractéristiques radiométriques précises, ...);
- ✓ de procédures de traitement spécifiques propres à chaque thématique (calcul d'indicateurs à concevoir, d'indices spécifiques, ...).

#### IV-2-2 **Données en amont (entrées):**

*Les données à acquérir par l'Observatoire* (images optiques, radar, photos aériennes, ...) pourront être communes à plusieurs thématiques (c'est l'un des intérêts de la réalisation de cet Observatoire : l'économie d'échelle): ainsi par exemple, sur une zone d'étude donnée, la même image SPOT ou RADAR pourra subir différents traitements (détection d'abattis, détection de zone orpaillée, détection d'extension urbaine, de zone inondée sous couvert forestier, ...) destinés à alimenter les réflexions dans plusieurs thématiques (foncier rural / urbain, orpaillage clandestin, zones de gîtes larvaires potentiels,...).

Les indicateurs conjoncturels édités régulièrement par l'INSEE, la DAF ou d'autres organismes doivent être analysés dès leur parution . En ce sens, ils constituent également des données d'entrée du système susceptibles de déclencher une sortie du mode routine .

#### IV-2-3 **Produits escomptés (sorties):**

*Au niveau des produits de l'Observatoire*, l'image satellitaire elle-même ou la photographie aérienne (plus qu'une carte) peut se révéler être un outil de dialogue très efficace (bien plus lisible parfois, par le commun des mortels, parce que justement elle est « muette », qu'une carte complexe). L'image constitue en soi un excellent outil de communication -on a notamment accès à la texture, au grain de l'image- contrairement à la carte qui est souvent réservée au monde des « *experts* », aux techniciens, à ceux qui savent (Voir à ce sujet POLIDORI 2005).

On assiste ainsi à notre époque au développement des *spatiocartes* (exemple des mosaïques Landsat couvrant un pays voire un continent tout entier) un peu partout dans le monde. La fabrication d'une carte conventionnelle étant non-automatisable elle requiert à un moment donné l'intervention d'un interpréteur, alors que pour l'ortho-photo ce n'est pas le cas. Pour produire une carte, il faut toutes les opérations nécessaires à la création d'une orthophoto plus la partie interprétation et tracé de la carte elle même.

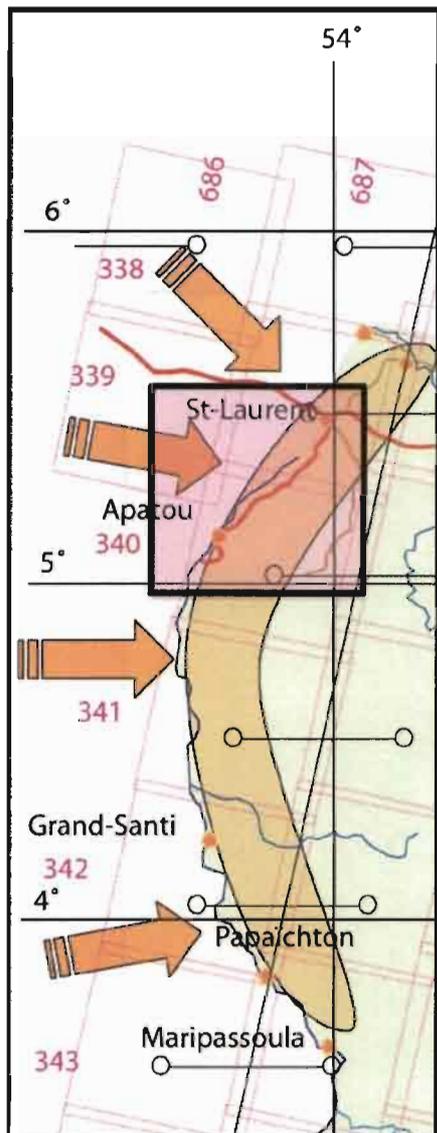
L'Observatoire sera également à même de produire des données statistiques résultant de traitements d'analyse spatiale opérés sur les images, d'éditer des *bulletins* périodiques, des rapports thématiques. La recherche *d'indicateurs spatiaux* et leur publication seront également favorisées (voir plus loin).

### IV-3 **LES DIFFERENTES ETAPES DE LA MISE EN ŒUVRE**

#### IV-3-1 **Délimitation de la zone d'exploration : le territoire d'analyse**

Ainsi que nous l'avons évoqué précédemment, les zones dans lesquelles les changements les plus importants (voire spectaculaires) en terme d'occupation du sol sont appelés à se manifester dans les années à venir en Guyane sont essentiellement au nombre de deux : l'île de Cayenne d'une part, la région « Ouest-Guyane » d'autre part; la zone « littoral-centre » (axe Kourou-Sinnamary-Iracoubo) et la zone « Est » (axe Régina-Saint-Georges) sont pour l'instant en dehors de ces dynamiques territoriales dont l'explosion démographique constitue la cause principale. Le phénomène d'orpaillage constitue quant à lui une problématique à part, de par ses caractéristiques à la fois spatiales et humaines.

Si les changements dans les formes d'occupation du sol auxquels nous sommes confrontés dans tous ces espaces sont d'une grande diversité, leur étude par voie aérienne ou spatiale passe par une délimitation préalable de leur extension territoriale en s'appuyant sur les sources d'information dont nous disposons et les objectifs que nous nous fixons. Cette délimitation permettra notamment d'opérer une première sélection parmi les documents de référence (données statistiques, cartes, photographies, images,...) se rapportant aux zones d'étude concernées.



Ainsi par exemple, sur la région Ouest-Guyane entre Mana et Maripasoula un nombre limité d'images SPOT ou LANDSAT sera requis pour couvrir cette partie du territoire, ainsi qu'en atteste la carte ci-contre sur laquelle sont matérialisées, par un vaste croissant de couleur ocre, les zones d'implantation des populations migrantes Bushe Nenge originaires du Surinam qui ont au fil des époques colonisé les rives françaises du fleuve Maroni (Paramaka, Djukas, Bonis) avec une intensification spectaculaire de ce mouvement depuis la fin des années 1980. Les coordonnées (K, J) des images SPOT couvrant la zone sont visibles (K : 686 et 687 ; J : 338 à 343). Les flèches indiquent les voies de pénétration dominantes des populations (Région Mana - Saint-Laurent - Apatou, Grand Santi et Papaïchton - Maripasoula) (Sources PIANTONI, 1996 ; TOULEMONDE, 1989).

#### IV-3-2 Segmentation éventuelle de la zone d'exploration

La zone d'exploration (ici l'Ouest-Guyane) pourra elle-même être segmentée plus finement (ici un zoom sur la région Apatou-St-Laurent est matérialisé) pour la prise en compte du rôle joué par d'autres facteurs comme :

- les caractéristiques locales du milieu physique (géologie, modelé du relief, hydrographie, ...) qui peuvent influencer sur l'extension des formes d'emprise humaine;
- les facteurs humains (origine des populations, histoire, ...);
- d'autres facteurs conjoncturels liés par exemple à une politique d'aménagement territorial majeure sur la zone considérée, qui peuvent bouleverser l'équilibre territorial en place ; ainsi l'ouverture d'un axe routier en zone forestière, génératrice de nouvelles dynamiques d'occupation de l'espace (voir paragraphe V).
- des problématiques connexes nécessitant une approche plus fine, et donc un autre niveau de découpage (comme par exemple la prise en compte d'atteintes à l'environnement dans des zones bien précises qui pourraient avoir un fort impact sur l'état sanitaire des populations concernées).

On pourra s'appuyer dans cette phase sur une approche du type « capital social<sup>17</sup> » telle que développée par LOUDIYI (2004) qui propose un cadre conceptuel et une démarche pour tenter de saisir la pluralité des configurations territoriales et leur interaction avec le capital social dans les processus de développement territorial. Pour cet auteur, lier le capital social aux organisations spatiales est une voie prometteuse pour la compréhension des processus de développement et la construction de formes de gouvernance territoriale.

Les résultats de toutes les études menées récemment en Guyane (POLIDORI, TSAYEM, GOND, GARDEL, TRAN) que nous avons citées précédemment pourront bien évidemment être mobilisés à ce stade du développement, comme dans les suivants.

<sup>17</sup> La notion de "capital social" se réfère à l'ensemble de normes, valeurs et réseaux qui facilitent l'action collective autour d'un projet au sein d'une communauté. Cette définition courante regroupe les règles qui président à l'interaction entre individus autant que les structures qui cadrent ces interactions.

### IV-3-3 Spécifier l'objet de la recherche

On s'intéresse aussi bien aux différents types d'atteinte à l'environnement **naturel** et à leurs changements au cours du temps qu'aux modifications qui ont lieu dans des zones préalablement **anthropisées** évoluant sous le double effet des processus naturels spontanés qui les gouvernent en partie et des interventions humaines qui les modifient parfois en profondeur afin d'en « tenir/rendre compte » par la suite à travers un processus d'évaluation de ces changements : l'Observatoire.

On pourrait donc considérer qu'il n'y a pas un, mais plusieurs observatoires de l'occupation du sol imbriqués, autant que de problématiques concernées. Ces dernières, toutes liées à des formes d'occupation humaine de l'espace et à leurs évolutions dans le temps ayant chacune leur propre étendue, plus ou moins identifiée, localisée ou au contraire diffuse, voire à découvrir pour certaines.

Dans chacune des thématiques abordées, la spécification claire de ce que l'on souhaite mettre en évidence devra être effectuée. Cette spécification s'appuiera notamment sur la définition d'un certain nombre de catégories décrivant l'occupation du sol. Leur nombre dépendra du degré de précision souhaité au niveau de l'élaboration des « produits » de l'Observatoire. Le niveau de précision peut dépendre également des destinataires. Mieux vaut s'attacher à réaliser d'emblée une typologie aussi fine que possible qui permettra d'éventuels regroupements. Un exemple est proposé ci dessous, s'appuyant sur différents travaux, dans différents contextes : forestier, rural, urbain.

#### CLE de DISCRIMINATION des UNITES PAYSAGERES

par recoupement de travaux de divers auteurs:

Faure, Gardel, Gond, Lacques, Richard, Tran, Tsayem, Verger

<b>MILIEU FORESTIER</b>	FORETS	forêt primaire non exploitée forêt primaire peu exploitée forêt secondaire et recrûs forêt marécageuse mangrove
	RELIEFS ISOLES	inselbergs
	ZONES ORPAILLEES	sites officiels sites clandestins
<b>MILIEU RURAL</b>  sur savanes littorales ou zones déforestées	BASSIN d' ABATTIS TRADITIONNELS avec JACHERES (AGROFORESTERIE)	essarts - abattis brûlis abattis cultivé récent (peu dense) abattis cultivé + ancien (dense) friche herbeuse (jachère) friche arbustive (jachère)
	AGRICULTURE PERMANENTE FIXEE	maraîchage (Hmongs) riziculture (Mana) arboriculture (vergers)
	ELEVAGE BOVIN / PORCIN	pâturage - bovin - propre pâturage - bovin - dégradé élevage porcine type industriel élevage porcine en sous-bois
<b>MILIEU URBAIN &amp; PERI-URBAIN</b>	centre urbain ancien habitat collectif habitat individuel dense habitat individuel diffus habitat dispersé habitat spontané dense (*) habitat mixte (**) grands équipements, Z.I.	(*) types d'habitats informels (**) constitué de zones résidentielles denses et d'habitat spontané

#### FRAGILITE des PAYSAGES

calcul d'un indice de morcellement (degré de morcellement d'un espace)

à partir de:

forme et taille des îlots forestiers rémanents  
fragmentation des différents composants  
hétérogénéité des formations végétales en présence  
part du recrû forestier dans les pâturages

Les différentes unités paysagères proposées sont pour la plupart susceptibles d'être identifiées sur des scènes SPOT 20 m, et a fortiori 10 m. Le recours à des photographies aériennes peut être indiqué pour certaines d'entre elles. Cette typologie sera éventuellement à affiner / compléter selon les particularismes locaux, ethniques, historiques.

#### **IV-3-4 L'état initial de référence**

Nous intéressants aux **changements** observables à un moment donné dans des formes d'occupation du sol et à leur détection, nous ne pouvons le faire que par rapport à une situation antérieure supposée connue, dite de « référence ».

On voit donc poindre la nécessité de fixer un « état initial ». La précision de ce dernier dépendra de l'abondance ou non des données disponibles, de leurs échelles respectives, et de leur pertinence par rapport au(x) phénomène(s) que l'on souhaite mettre en évidence, en un mot de la **thématique** abordée et des **attentes** au niveau de l'Observatoire.

L'état initial du territoire sera dans un premier temps évalué, à l'aide des données disponibles dans les échelles adéquates. Il est probable que la concordance entre des typologies réalisées lors de travaux antérieurs et celles sur lesquelles on souhaite s'appuyer dans la phase opérationnelle de l'Observatoire ne soit pas parfaite. Il faudra aménager de manière à converger vers un consensus au bout de quelques itérations dans la mise en évidence des changements.

#### **IV-3-5 Mise en place d'un SIG et d'une base de données géoréférencées**

L'utilisation d'un logiciel SIG couplée à une base de données géoréférencées sera incontournable ; On portera une attention particulière à la gestion du temps, chaque couche d'information devant être à la fois référencée dans l'espace et dans le temps.

Au niveau du SIG à réaliser, on s'inspirera à la fois des réalisations type « SIG Pyrénées » (<http://www.sig-pyrenees.net/>) et du SIG Guyane du BRGM (<http://sigguyane.brgm.fr/>). Au niveau des couvertures de base, hors thématiques, on s'attachera à incorporer aussi précisément que possible toutes les données telles que réseau hydrographique, couches géologiques et couverture pédologique. Un MNT sommaire (données SRTM échantillonnées à 90m) pourra être intégré en attendant mieux (SPOT5 HRS « haute résolution stéréoscopique » échantillonnées à 1 sec. d'arc ⇔ 30m avec une précision de localisation de 10m). On s'attachera à collecter d'autre part toutes les couches d'information émanant des autres administrations (ONF, DRIRE, DIREN, Parc Naturel Régional, Mission Parc du Sud, ...) telles que périmètres des forêts aménagées, périmètres des zones de protection et de conservation, périmètres des concessions minières, zones de droit coutumier, etc. Les couvertures satellitales disponibles à l'heure actuelle sur l'ensemble de la Guyane, comme les mosaïques LANDSAT et ERS (radar) seront intégrées, de même que les découpages administratifs (communes) et principales infrastructures comme les voies de communication.

#### **IV-3-6 Elaboration des produits destinés aux décideurs, au grand public**

Les produits de l'observatoire seront de plusieurs types, comme cela a été déjà dit en IV-2-3, à savoir : élaboration de spatio-cartes et de produits cartographiques divers, édition de bulletins et de rapports thématiques, **recherche et mise au point d'indicateurs spatiaux** à l'attention des gestionnaires ou autres décideurs. Sur ce dernier point, GARDEL (2000) précise que « un indicateur spatial est un objet qui trahit un phénomène ou un fonctionnement dans un paysage ». Pour BERINGUIER (1999) « même lorsqu'il paraît stable, le paysage est toujours travaillé par des dynamiques d'évolution qui n'entrent pas forcément en action toutes en même temps et selon une égale durée ». Il ajoute « les dynamiques spatiales apparaissent à tous les niveaux de l'analyse paysagère si l'on considère que le paysage est justement le résultat des interactions nature-société ».

Toujours à propos des indicateurs, et de leur recherche sur le terrain, POLIDORI (comm. pers.) ajoute que les indicateurs seront classiquement reliés à des paramètres environnementaux (biophysiques, géophysiques, écologiques...) ou socio-économiques par un effort de modélisation, puisqu'il s'agira, à partir de l'information radiométrique élémentaire contenue au niveau d'un **pixel**, d'accéder à une connaissance à la fois **environnementale** et **sociale** (i.e. donner un sens non seulement « écologique » mais **social** au pixel).

Pour que ces indicateurs puissent devenir instruments de décision, il doivent pouvoir rendre compte de réalités non observables, liées aux critères de décision (comme certains types de végétation, indicateurs de pollution).

L'Agence Européenne de l'Environnement préconise une distinction entre indicateurs de pression, d'état et d'incidence reflétant les spécificités géographiques et socio-économiques des régions considérées.

**Indicateurs de pression** : facteurs susceptibles de provoquer ou d'accentuer des phénomènes, comme la densité démographique, la taille des implantations humaines dans un environnement forestier, la densité du réseau routier ou la proximité des villes, les types d'utilisation du sol et les superficies agricoles, les conditions socio-économiques de la population, l'instabilité politique régionale, les régimes et pratiques fonciers, le commerce international.

**Indicateurs d'état**: évolution dans le temps des indicateurs de pression (comme l'accroissement démographique, l'extension des surfaces cultivées et des pâturages, la mutation des structures foncières) ou indicateurs spécifiques d'état de l'environnement : exploitation forestière (quantité de bois extrait, superficies de coupes), incendies de forêt (occurrence d'apparition et champ de propagation), structuration spatiale du couvert forestier, types de végétation, ...

**Indicateurs d'incidence**: ils donnent un aperçu de l'impact anthropique et écologique de la détérioration du milieu : érosion des sols, fréquence des inondations, baisse des rendements agricoles, réchauffement climatique.

La plupart de ces indicateurs peuvent être obtenus directement ou indirectement à partir d'images de satellites ou de photographies aériennes.

La mise au point, le renseignement et l'analyse d'indicateurs pertinents constitue, outre les données cartographiques et les spatiocartes qui seront produites, la véritable « valeur ajoutée » du futur Observatoire. Un soin particulier doit être apporté à leur élaboration.

Un indicateur est bon s'il est commode à extraire, et surtout s'il a un sens face aux questions qui se posent : démographie, santé publique, etc.

Les indicateurs retenus doivent à ce titre être particulièrement « parlants ».

## V- ILLUSTRATION SUR UN TERRAIN : DYNAMIQUES TERRITORIALES DANS L'OUEST GUYANE

Dans ce paragraphe, nous montrerons comment, à l'échelle de l'analyse des changements dans les formes d'occupation du sol au niveau d'un territoire relativement restreint comme la région Saint-Laurent - Apatou plusieurs problématiques, que nous avons précédemment identifiées comme étant prioritaires, se télescopent et en quoi un processus global de fonctionnement de type « Observatoire » peut permettre, à partir du moment où les différents schémas de fonctionnement correspondant à ces thématiques particulières auront été définis, d'informer les utilisateurs sur les changements en cours et éventuellement les risques que ces changements font courir aux populations, ouvrant la voie à une prise en compte de ces changements dans des politiques d'aménagement adaptées.

### V-1 DYNAMIQUES ET RISQUES LIÉS A UN AMÉNAGEMENT ROUTIER EN ZONE FORESTIÈRE



**Contexte et problématique :** Dans l'Ouest, du fait de la présence de milliers de PPDS, les défrichements « tolérés » initiés à la fin des années 80 autour des camps de réfugiés ont pris une ampleur considérable dans la région de Mana avec la colonisation des bords de routes et des pistes forestières (Verger, 2004).

Plus au sud, les défrichements s'accroissent le long des infrastructures routières en cours de réalisation (route St-Laurent – Apatou).

*Il serait intéressant d'observer avec attention les dynamiques territoriales le long de cet axe qui pourraient préfigurer l'évolution future du bassin du Maroni jusqu'à Maripasoula.*

Les Noirs Marrons s'estimant ici sur leurs terres ancestrales les gèrent à leur guise, ce qui ne plaît pas forcément à tout le monde ; ainsi, un gros éleveur –métropolitain- de la région, préoccupé par la légitime extension de ses pâturages qui s'inquiète, parlant de « terres prises d'assaut », de « front pionnier », évoquant un schéma « à la brésilienne ». Au delà de ces prises de position partisans, un état des lieux objectif de la situation serait à faire.

#### **Hypothèses et questionnement:**

Plusieurs hypothèses seraient à tester dans le bassin de peuplement du Maroni, comme : apparition ou non de la spéculation foncière dans l'Ouest, en zone d'appropriation communautaire traditionnelle de l'espace, du fait du désenclavement routier, ou bien l'extension anticipée des surfaces cultivables dans la perspective de l'ouverture prochaine de la liaison routière qui permettra un écoulement aisé des produits agricoles vers le bourg tout proche de Saint-Laurent, avec ses bientôt 30.000 habitants ? A moins que l'extension du phénomène actuel de déforestation, « inscrit dans les gènes » de ces populations pourrait-on dire, ne soit que la conséquence de leur très importante croissance démographique ? *Une recomposition territoriale importante serait-elle en train de s'opérer, expliquant la multiplication des abattis (qu'il faudrait dans un premier temps évaluer) ?*

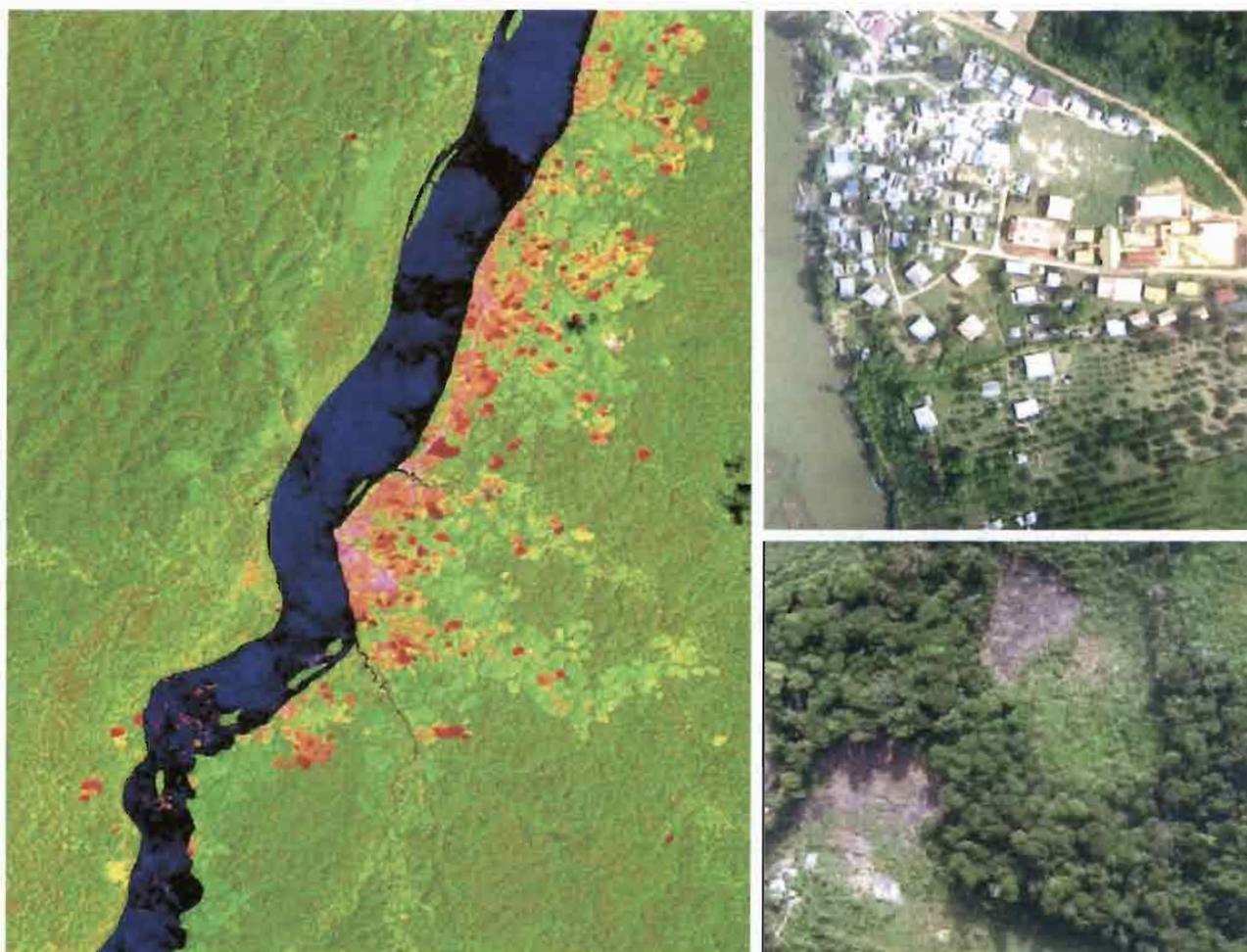
Ce point mériterait d'être élucidé, d'autant que d'autres voix prédisent « la fin prochaine des abattis » du fait de l'évolution de la société Bushi Nenge, en cours d'intégration à l'économie globale de marché, dont les jeunes générations adoptent de plus en plus les modèles de comportement occidentaux avec abandon progressif de la polygamie (car si les abattis sont préparés par les hommes, leur entretien est assuré par les femmes).

La nécessité d'observer cette région avec attention s'impose d'autant plus qu'elle est sujette à une recrudescence des maladies parasitaires transmissibles (paludisme en particulier). Le bouleversement des

milieux qui accompagnent les déforestations (routes, abattis) a en effet un impact important sur la prolifération des gîtes larvaires des moustiques du genre *Anophèles*, vecteurs de cette maladie. Des vecteurs d'autres maladies, comme la maladie de Chagas, naturellement présents dans l'écosystème (punaises), sont amenés – du fait de la déforestation qui s'étend et/ou de l'extension de l'habitat à proximité de zones récemment déboisées- à se rapprocher de l'homme, l'infectant, ce qui constitue un autre facteur de préoccupation.

Des modifications locales du climat –baisse de la pluviométrie- sont également signalées dans l'Ouest, sur le « Plateau des mines » en particulier, attribuées, peut-être de manière abusive -mais ce serait à vérifier- à la déforestation massive dans la région de Mana proche du littoral. La partie ouest de la Guyane étant déjà la région la moins arrosée du département, toute baisse constatée dans le régime des pluies est tout de suite mal vécue par certains professionnels, dont les éleveurs, soucieux, et c'est légitime, de l'état de leurs pâturages.

**Plusieurs problématiques se chevauchent donc**, mais pour conduire à l'heure actuelle une surveillance pluridisciplinaire sur la zone Saint-Laurent-du-Maroni – Apatou, peu d'images satellitaires exploitables sont malheureusement disponibles : une image SPOT de 2001 et quelques images LANDSAT plus anciennes (1992,1997,1999). Le catalogue « SIRIUS » des données SPOT est particulièrement vide en ce qui concerne la Guyane. L'arrivée de la station SEAS devrait participer à son « gonflement » ... Nous présentons ci dessous un extrait d'une scène SPOT en date du 18 octobre 2001, journée exceptionnelle en Guyane pour l'acquisition d'images de bonne qualité (taux d'ennuage très faible). Par contre nous disposons d'une couverture en photographies aériennes de qualité pour l'année 2001 en cours de renouvellement (sept-oct 2005) sur cette zone et au delà sur l'ensemble du Maroni (à la demande des services fiscaux).



**Région d'APATOU sur le Maroni moyen à trois échelles différentes**

image SPOT (K/J : 687-340) 18 oct 2001 (MIR, PIR R), cliché SERG 2004, BD-ORTHO IGN 2001

Sur l'image SPOT à gauche, les surfaces en rose saumon correspondent aux îlots de maison et aux pistes et celles en orange-rouge aux abattis mis en culture et aux brûlis récents. Les jachères forestières (zones en vert clair) se démarquent de la forêt dense plus sombre. D'après POLIDORI (comm. pers.), plus la distance séparant un abattis des zones habitées est grande, plus son propriétaire est riche, car il dispose des moyens de locomotion adéquats (véhicule « 4 x 4 ») pour le mettre en valeur et l'exploiter.

L'Observatoire est sensé organiser et centraliser la collecte et le traitement régulier de données de télédétection sur une zone d'étude donnée, ainsi que l'acquisition et l'analyse des données statistiques périodiquement éditées sur cette même zone par les différents instituts et organismes institutionnels ou consulaires dans les domaines de la démographie (INSEE), de la santé (DSDS : Direction de la Santé et du Développement Social), de l'agriculture et de la forêt (DAF, ONF, Chambre d'agriculture, CNASEA), de la sécurité publique et du contrôle des frontières (Préfecture, Gendarmerie) ainsi que de l'aménagement du territoire (Région, DDE, EPAG,...). Il produira en retour un certain nombre de cartes et documents divers.

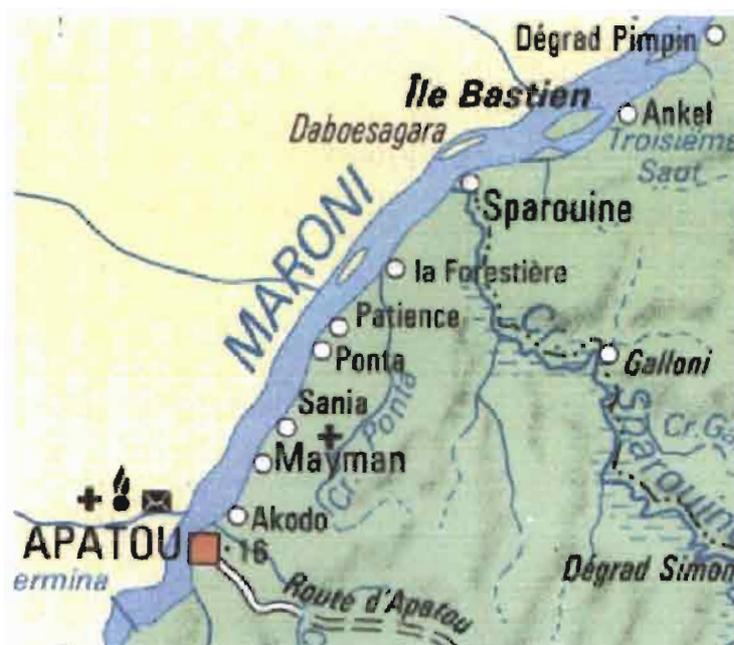
**V-2-1 Thématique télédétection & démographie :**

Les données démographiques en tant que telles ne sont pas directement accessibles par télédétection. Il faut passer par des **indicateurs** observables sur le terrain, parmi lesquels **l'habitat** est le plus pertinent. En milieu urbain et péri-urbain dans l'Île de Cayenne, GARDEL (2000) a montré que l'application de méthodes de dénombrement des habitats et d'identification de leurs types est possible avec une résolution spatiale de l'ordre de 4 m, ce qui rentre « presque » dans les capacités de SPOT 5 en mode panchromatique (5 m), le « supermode » (à 2,5 m) pouvant se révéler adéquat (cela demande à être testé). Sa méthode de recensement de la population s'appuie sur l'application d'un coefficient correspondant au nombre estimé de personnes vivant sous le même toit tous types d'habitats confondus (chiffre fourni par l'INSEE) qu'il attribue aux habitats détectés sur des images aériennes. Il constate une bonne corrélation entre les résultats INSEE et sa propre technique de recensement assistée par télédétection dans certains îlots de peuplement, mais pas dans d'autres, différences qu'il attribue principalement à la difficulté d'accès à certains habitats (d'autre part peu visibles du fait de la topographie et qui ne seront donc pas enquêtés) et à l'hétérogénéité des conditions socio-économiques des habitants qui tend dans certains cas à une sous-estimation du coefficient INSEE.

Communes	1982	1990	1999
Saint-Laurent	6 971	13 616	19 211
Apatou	618	2 451	3 628

**Résultats des trois derniers recensements INSEE réalisés dans les communes de Saint-Laurent du Maroni et d'Apatou.**

La méthode employée par Gardel dans l'Île de Cayenne mériterait d'être testée au niveau des nombreux écarts présents sur fleuve Maroni ; à partir d'enquêtes sur le terrain et par divers recoupements (comme la



prise en compte du nombre d'enfants régulièrement inscrits dans les établissements scolaires dont l'assiduité constitue un des critères de maintien des prestations familiales) il doit être possible d'estimer, pour une population et un contexte donnés le nombre de personnes vivant sous chaque toit. Par identification et comptage des toits sur les images il doit être relativement aisé d'avoir une idée assez précise des populations riveraines sur les différents îlots de peuplement entre Apatou et Saint-Laurent qu'il serait intéressant de comparer aux données censitaires des années précédentes.

**Extrait de la carte IGN au 1 : 50 000 Région d'Apatou.** Le tracé du futur axe routier ne figure pas encore. Les nombreux îlots de peuplement sont visibles.

En ce qui concerne le bourg de Saint-Laurent et dans une moindre mesure celui d'Apatou les données INSEE disponibles constituent un indicateur de référence dont la validation doit être entreprise dans certains quartiers périphériques à croissance rapide sur les mêmes bases de traitement (dénombrement des toits et projections). On pourrait cependant compléter l'approche de Gardel en se rapprochant des travaux réalisés et publiés sur Cayenne pour les besoins de l'épidémiologie urbaine (Tran et al., 2002), travaux consistant à extraire d'images satellitales des indicateurs

de densité de bâti et à les corrélérer aux données démographiques disponibles auprès de l'INSEE. On testera la pertinence ou non d'étendre ces résultats à la recherche d'indicateurs démographiques plus performants encore en s'inspirant des indicateurs proposés par Faure et al. (2004) testés sur Cayenne et Belém. Ces indicateurs ont permis de dresser une cartographie de la distribution spatiale de l'indice de densité de population dont la corrélation étroite avec les valeurs statistiques de l'INSEE a confirmé la grande potentialité de la télédétection en matière d'estimation et de cartographie de la densité de population.

La complémentarité entre les données optiques et les images radar pour la caractérisation et la cartographie des paysages urbains a également été mise en évidence dans l'île de Cayenne. La position géographique de la ville ne permet d'obtenir qu'une scène optique exploitable par an, du fait de fortes nébulosités régionales. Des confusions radiométriques limitent fréquemment l'interprétation par les méthodes de classifications numériques pixel à pixel. Pour pallier ces difficultés l'association des données radar aux images optiques en exploitant leurs qualités et apports respectifs peut constituer une alternative intéressante lorsque les conditions de forte nébulosité sont appelées à se prolonger et qu'une évaluation rapide de la situation est impérative.

Les données photographiques de l'IGN disponibles sur cette zone (2000 et bientôt 2005) pourront être exploitées en parallèle avec des images SPOT 5 pour déterminer la validité ou non de leur application à ce type de problématique. Armés de ces différents outils et indicateurs, nous pensons accéder à une connaissance relativement fine des données démographiques sur la zone considérée, par le biais de traitements géomatiques directement sur les images que nous essayerons d'automatiser (extraction d'îlots de peuplements avec comptage des toits).

### V-2-2 Thématique télédétection, déforestation et problèmes fonciers :

En Guyane, et plus particulièrement dans l'Ouest, quel que soit l'endroit où l'on se trouve la forêt n'est jamais très loin. L'extension du périmètre urbain d'agglomérations comme Saint-Laurent ou Apatou et des limites des écarts de peuplement le long du fleuve (Mayman étant la plus importante) se fait au détriment des zones forestières. Les populations dominantes présentes (Noirs Marrons, Amérindiens) ayant de plus une pratique traditionnelle de l'agriculture itinérante à des fins d'autoconsommation et de vente des excédents, l'explosion démographique dans cette région entraîne la multiplication des abattis dont les chapelets se succèdent tout le long du fleuve, accompagnés par le développement de l'élevage porcin en sous bois. Sur le Plateau des Mines tout proche, de grands élevages bovins, derniers témoignages du Plan Vert de 1975, perdurent. Un suivi de l'extension/régression ou changement d'état des zones pâturées serait à réaliser, cette activité constituant une composante forte et du paysage et de l'économie locale.



Toutes ces formes d'occupation de l'espace demanderaient à être quantifiées avec précision, ce qui n'a jamais encore été fait de manière exhaustive, à part peut-être par l'ONF qui a en charge l'aménagement de plusieurs massifs forestiers le long de l'espace compris entre les deux bourgs. La prise en compte des usages forestiers des populations riveraines de ces massifs figure d'ailleurs parmi les préoccupations de l'aménageur dans le cadre des dispositions prévues par le Code du Domaine de l'Etat : décret 87-267 du 14 avril 1987 portant sur les ZDUC : Zones de Droits d'Usages Collectifs (PARMENTIER, 2004). Une tolérance tacite concernant l'installation des populations locales hors du domaine forestier aménagé existe dans la région, mais uniquement dans la partie « ouest » (entre le tracé du futur axe et le fleuve), la partie « est » étant déclarée interdite à toute *squatterisation* dans une volonté clairement affichée de l'Etat de la dédier à un strict usage forestier (un zonage « agriculture / forêt » a par ailleurs été réalisé allant dans ce sens).

Classiquement, ainsi que l'a montré TSAYEM (2002) la caractérisation des zones à usage agricole traditionnel (abattis) s'appuie sur l'utilisation des photographies aériennes quand il s'agit d'identifier les cycles culturaux de ces derniers. Si l'on compte s'en tenir uniquement à l'évaluation des changements de superficie des espaces déforestés entre deux dates, l'utilisation des données type SPOT XS à 20 m de

résolution spatiale (et à fortiori 10 m) fera l'affaire, et la quantification du phénomène sera accessible par comparaison des résultats de classifications (synchronisées ou séparées) réalisées sur des images multitudes ainsi que cela a été abordé en III-5-3-2.

L'estimation des surfaces concernées par les différents phénomènes d'occupation de l'espace pourra également se faire par passage dans un SIG et vectorisation des contours des zones détectées. L'automatisation de ce type de tâche peut être évaluée, des logiciels du marché ayant la capacité de reconnaître des formes à partir d'une phase d'apprentissage au cours de laquelle des échantillons des entités spatiales à reconnaître (en terme de forme, de superficie, de radiométrie) leur auront été communiqués.

Les nouveaux abattis sont préparés durant la saison sèche (juillet-août) ; le brûlage suit peu de temps après (en général durant les mois de septembre / octobre). La détection d'une nouvelle emprise se fera donc sur des images qui auront été acquises durant cette période, qui a l'avantage de bénéficier de conditions d'enneigement optimales. Une surveillance de routine pourrait donc s'accommoder d'une fréquence de rafraîchissement des connaissances de l'ordre de l'année, avec prises de vue en octobre (données optiques et radar).

### V-2-3 Thématique télédétection, modifications environnementales et santé »

L'épidémiologie de maladies comme la dengue et le paludisme est fortement influencée par l'environnement, et en particulier par les rapports entretenus entre l'homme et le milieu naturel. La détection de modifications environnementales peut donc renseigner sur les risques encourus par les populations vivant à proximité des zones où ces modifications se produisent. Il a été constaté (TRAN, 2004, dans son étude sur la propagation d'une épidémie de dengue à Iracoubo) que les différents types de paysages modifient l'orientation de la distribution des vecteurs : les moustiques *Aedes aegypti* ne traversent pas les routes, ni les fleuves, car leur vol est relativement court, par contre ils entrent facilement dans les habitations et se déplacent aisément sous couvert végétal. Ainsi peu de classes d'occupation du sol apparaissent importantes dans la caractérisation d'une éventuelle « susceptibilité » d'un territoire à une infection de ce type: la présence de végétation (haute ou basse), d'un sol nu (ou bitume), de bâtiments, et d'eau (facilitatrice).

Ainsi, le processus de diffusion des insectes assimilé à un flux peut être approché en attribuant aux types paysagers une rugosité différente selon leur influence sur le déplacement des vecteurs : les zones de végétation et d'habitation facilitent le déplacement des moustiques (zones humides et récipients constituant en outre autant de gîtes larvaires potentiels), tandis que les présences humaine et animale agissent en « attracteurs ». Les facteurs météorologiques comme la température, l'humidité et les précipitations influent sur d'autres paramètres comme la production d'*Aedes* par gîte).



Si une classification supervisée conduite sur ces bases sur des images de télédétection de type SPOT XS aura surtout pour conséquence de différencier les zones de paysages naturels des zones urbanisées, la mise au point et le calage de modèles de diffusion spécifiques sur ces zones permettra l'établissement de cartographies dynamiques du risque (à partir de relevés entomologiques matérialisant l'activité des foyers de dengue). L'intégration d'un paramètre simulant les contacts infectieux induits par les déplacements des personnes ouvre alors la porte à la réalisation d'un outil de simulation adapté au contrôle de la maladie sur lequel pourront être testés différentes hypothèses comme « que se passerait-il si ? » et évalué les impacts de certaines mesures (comme les campagnes de démoustication).

En somme, la conjonction des trois facteurs suivants en un lieu :

- présence de végétation
- présence d'habitat humain/animal : maison, étable,...
- couplées à une forte humidité du sol

prédispose à l'existence d'un risque important sur la zone considérée en matière de dengue.

En Guyane de nombreuses zones correspondent à ces critères. Néanmoins certaines d'entre elles semblent plus exposées, comme les zones récemment déforestées dédiées à des activités d'agriculture ou d'élevage. La détection de zones inondables en sous-bois à proximité de secteurs habités constitue de ce fait une mesure dont la préconisation périodique semble nécessaire. Une détection en saison des pluies serait impérative pour tenir compte de l'extension maximale du phénomène (par exemple en janvier –petite saison des pluies- et/ou en juin –grande saison des pluies-). La permanence de ces zones inondées en saison sèche et l'évaluation de leur extension minimale serait également judicieuse,

la chaleur ambiante ne pouvant que favoriser la multiplication des larves en cette saison. Des données radar seraient indiquées de par leur double capacité à détecter l'humidité du sol et à s'affranchir de la couverture nuageuse.

En matière de santé publique, l'orpillage est également présent sur la zone d'étude (site de Paul Isnard) avec les risques sanitaires propres à cette activité (pollution des cours d'eau au mercure, eaux turbides, déforestation et atteintes à l'environnement et à la biodiversité). Sur cette mini-région que nous avons choisie pour illustrer notre démarche, une veille de routine serait à programmer avec une fréquence bi-annuelle en utilisant des données optiques et en approfondissant les techniques de détection de sites initiées par GOND (2005). A l'échelle de la Guyane, le traitement du problème de l'orpillage par la télédétection nécessite un approche globale, incluant la recherche de sites encore non identifiés dans l'arrière pays.

#### **V-2-4 Thématique impacts des dynamiques territoriales (urbaines, rurales) sur la biodiversité**

Des travaux visant à accéder à une estimation indirecte de l'altération de la biodiversité par l'observation des changements constatés dans des paysages ruraux, forestiers ou péri-urbains amazoniens sont en cours dans le cadre du programme de l'IFB<sup>18</sup> « Biodiversité et gestion durable des ressources naturelles en Amazonie ». Ces travaux sont menés sur trois sites de l'Amazonie brésilienne, avec notamment la participation de chercheurs de l'US Espace de l'IRD de Cayenne.

Toute la difficulté d'une telle approche réside dans le fait que la télédétection ne peut apporter aucun renseignement direct quant à l'évolution de la biodiversité dans les zones soumises à une pression humaine, quelle qu'elle soit (à moins que cette pression soit drastique, comme dans le « flat » d'un chantier d'orpillage, où il est clair que la biodiversité a été « éradiquée »). Ce que la télédétection nous donne à voir, ce sont des traces de présence humaine (piste, mine, abattis, carbets, eau turbide) qui sont autant de témoignages d'une atteinte à la biodiversité forestière ou aquatique mais que l'on ne pourra vraiment approcher, et éventuellement « mesurer », qu'en s'intéressant aux milieux concernés eux-mêmes, sur le terrain.

#### **V-3 LES DEFIS A RELEVER POUR LES GESTIONNAIRES DE L'ESPACE**

Le besoin de surveillance de l'environnement s'est récemment accru en Guyane avec l'accroissement de la pression foncière en zone rurale, l'extension anarchique et la densification progressive de certains secteurs péri-urbains dans l'île de Cayenne et l'intensification des activités d'orpillage illégal dans l'arrière pays. La recrudescence de certaines maladies transmissibles, parfois jusque dans la bande littorale elle-même, constitue par ailleurs un facteur de préoccupation supplémentaire.

Ces diverses situations ont donné lieu ces dernières années à des sollicitations en matière d'observation du territoire auprès du Laboratoire Régional de Télédétection dont la vocation essentielle est de fournir à la Guyane un outil de surveillance de l'environnement. Nous avons montré que des difficultés ont ainsi été abordées et résolues dans de nombreuses thématiques, ce qui peut laisser à penser que le territoire est désormais bien mieux connu. C'est un fait. Cependant, le manque de données de télédétection à traiter a cantonné ces avancées au monde scientifique, sans que l'on puisse, malgré les résultats de certains travaux, préconiser ces approches pour une aide opérationnelle à la gestion du territoire.

Partant de ce constat, un projet d'Observatoire de l'environnement est envisagé qui intégrerait les résultats obtenus et en poursuivrait le développement dans une structure commune dont le but serait de produire de l'information à la fois cartographique et statistique de manière régulière dans les thématiques jugées prioritaires.

La mise à la disposition des décideurs et autres gestionnaires de l'espace guyanais de ces divers produits et résultats d'analyses pluridisciplinaires actualisés sur l'état de la presque totalité des zones anthropisées du littoral et des fleuves frontaliers (y compris celles qui ont parfois été considérées comme « de non droit » du fait de leur éloignement et isolement conjugués, ou tout simplement de la méconnaissance partielle des événements qui s'y déroulent), ne résoudra pas miraculeusement les problèmes qui se posent aux pouvoirs publics en Guyane.

Encore faudra-t-il que les bonnes décisions soient prises, pour non seulement faire face aux « révélations » que l'outil sera susceptible de faire émerger, mais aussi tenter de venir aux devants des complications dont ces révélations constitueront peut-être autant de « signes avant-coureurs ». Il est bien

---

<sup>18</sup> Institut Français de la Biodiversité, dont l'IRD et le CIRAD sont les partenaires institutionnels majeurs.

connu en effet que l'accès à l'information, surtout si elle est pléthorique, ne résout pas les problèmes, il peut même constituer un facteur d'indécision (POLIDORI, 2005).

Les défis qui se présentent aux gestionnaires et aménageurs des territoires en Guyane sont nombreux ; on peut les décliner en ces termes : **maîtrise de l'espace, respect de l'environnement, santé des populations**. Souhaitons leur de les relever avec brio et de se montrer à la hauteur des enjeux majeurs de notre époque ; que ce projet d'Observatoire, s'il se concrétise, puisse les aider à le faire encore mieux.

Il est clair de toutes manières qu'une telle entreprise ne pourra devenir pleinement opérationnelle que dans le cadre d'une coopération entre responsables politiques, techniques, scientifiques et industriels concernés par l'aménagement du territoire en Guyane.

#### **V-4 CONCLUSIONS & PERSPECTIVES**

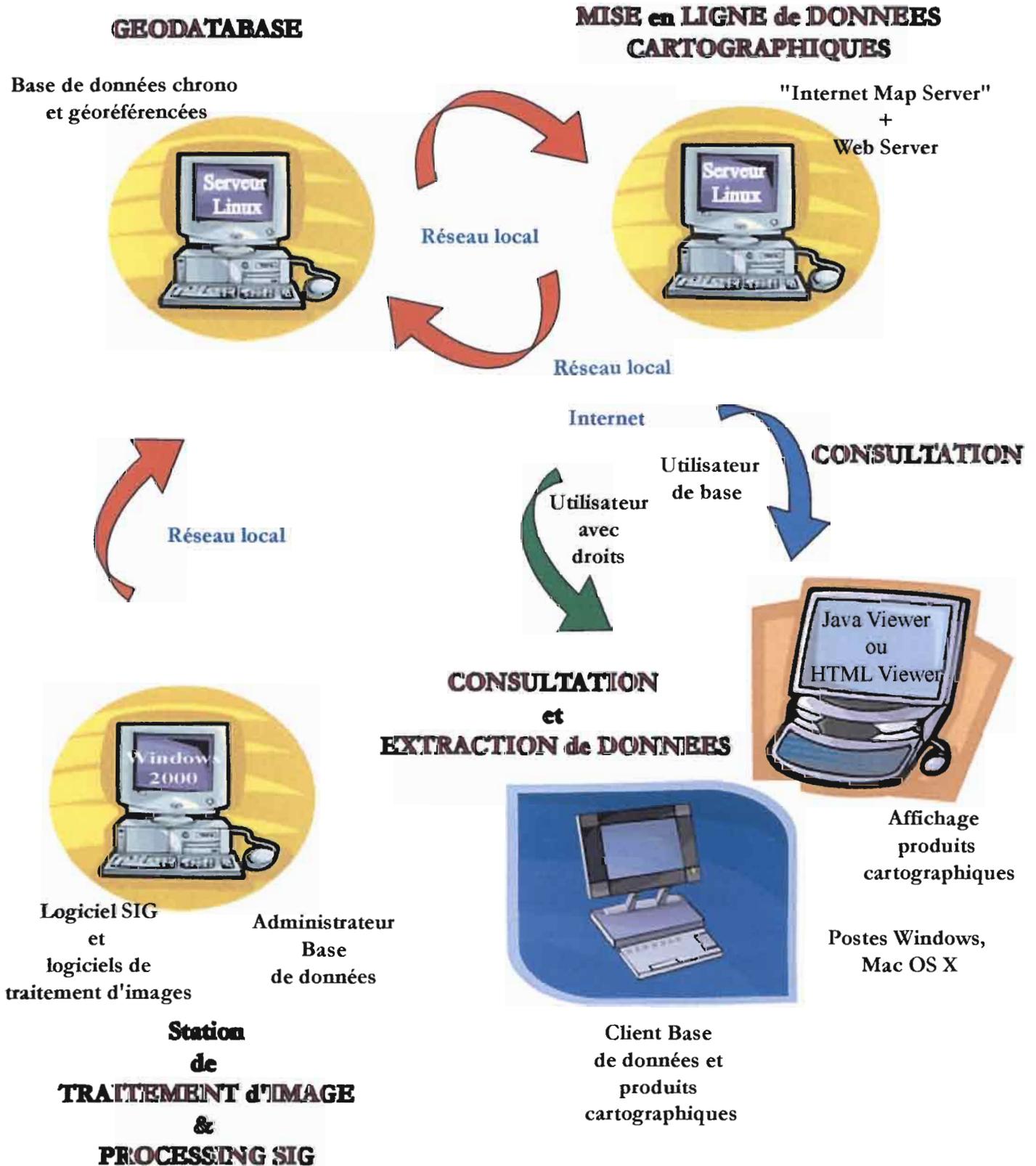
Ce mémoire peut être considéré comme une « étude des besoins » d'un projet d'Observatoire de l'occupation du sol en Guyane. Un certain nombre « d'états des lieux » de la réalité guyanaise a été dressé, dans ses multiples composantes : géographique, historique, sociale, mais aussi scientifique. Une telle approche est indispensable. Les grandes lignes de ce projet qui pourrait contribuer à un développement harmonieux de ce vaste territoire français d'Amazonie, en ce sens qu'il donnerait la « matière à discussion » indispensable pour la prise en compte de ses multiples facettes et problématiques, ont ensuite été brossées.

L'émergence de l'outil envisagé est contemporaine de la disponibilité prochaine d'un véritable « flux tendu » d'images satellitaires haute résolution dans le département, et ce dans un grand éventail de longueurs d'ondes. On ne peut que s'en réjouir.

Dans le cadre d'une éventuelle thèse, il serait intéressant de développer tout ou partie des problématiques abordées et de réaliser un prototype d'Observatoire sur une zone d'extension limitée, comme la zone « Ouest-Guyane » évoquée ci-dessus, ou le nouvel axe de l'Est « Régina-Saint-Georges », régions appelées à se développer dans les années à venir, et qu'il serait intéressant de suivre... Les entrées « démographie / foncier », couplées au suivi des activités d'orpillage sur ces deux zones, avec leurs incidences sur la santé des populations seraient à prendre en considération en priorité.

Ainsi, à l'image de Jean Richer qui mit en évidence en Guyane « la vraie figure de la Terre », puissent les produits de l'Observatoire renvoyer à l'avenir une « figure de la Guyane » dont aucun des acteurs concernés par l'avenir de ce territoire n'ait à rougir.

# OBSERVATOIRE de l'OCCUPATION du SOL



Description sommaire des équipements requis  
et des services offerts

## ANNEXES

### Annexe I : Les prétraitements : exemple sur les produits SPOT-IMAGE

Les images satellitaires livrées par SPOT-IMAGE peuvent subir **cinq niveaux de prétraitement** différents :

**Niveau 1A** : correction des **défauts radiométriques** provenant des écarts de sensibilité entre les détecteurs de l'instrument de prise de vue ; aucune correction géométrique ; niveau de prétraitement quasiment brut ; précision de localisation de 350 mètres pour SPOT 1 à 4 et de 50 mètres pour SPOT 5.

**Niveau 1B** : correction identique au niveau 1A ; plus **corrections géométriques** des distorsions causées par les conditions de prise de vue : variation d'altitude du satellite, courbure et rotation de la Terre ; précision de localisation de 350 mètres pour SPOT 1 à 4 et de 50 mètres pour SPOT 5.

**Niveau 2A** : La scène niveau 1B est rectifiée dans la **projection cartographique standard UTM** (WGS 84) sans utiliser de points d'appui ; précision de localisation de 350 mètres pour SPOT 1 à 4 et de 50 mètres pour SPOT 5.

**Niveau 2B** : corrections niveau 1B plus des **données géographiques** ou **cartographiques** selon la zone, constituées par des points d'appui issus de mesures GPS ou mesurés sur des cartes topographiques. Plusieurs projections peuvent être proposées : Lambert conforme, UTM, stéréographique polaire, équatoriale oblique, polyconique... Ce sont des **cartes numériques** toujours actualisées et couvrant l'ensemble du globe. Ce niveau peut être utilisé dans les régions avec **peu de relief** ; précision de localisation de 30 mètres.

**Niveau 3** : corrections niveau 2B plus correction des **erreurs de parallaxes dues au relief** grâce à l'utilisation d'un MNE (modèle numérique d'élévation qui provient de la base de données mondiale, Reference 3D, développée par SPOT IMAGE avec SPOT 5 et l'IGN) ; précision de localisation de 15 mètres pour tous les pixels ; recommandé dans les **régions avec relief** ; précision cartographique maximale.

(sources : [http://www.ac-rouen.fr/pedagogie/equipes/lethist/histgeo/images\\_satellites.htm](http://www.ac-rouen.fr/pedagogie/equipes/lethist/histgeo/images_satellites.htm))

## Annexe II : TELEDETECTION et OCCUPATION du SOL

### Correspondance entre radiométrie et végétation ; application au capteur Landsat TM

Source : [http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/chapter2/chapter2\\_12\\_f.html](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/fundam/chapter2/chapter2_12_f.html)

#### Bandes TM

Bandes	Domaine spectral (microns)	Application
TM 1	0,45 - 0,52 (bleu)	discrimination entre le sol et la végétation, bathymétrie/cartographie côtière; identification des traits culturels et urbains 
TM 2	0,52 - 0,60 (vert)	cartographie de la végétation verte (mesure le sommet de réflectance); identification des traits culturels et urbains
TM 3	0,63 - 0,69 (rouge)	discrimination entre les espèces de plantes à feuilles ou sans feuilles; (absorption de chlorophylle); identification des traits culturels et urbains
TM 4	0,76 - 0,90 (proche IR)	identification des types de végétation et de plantes; santé et contenu de la masse biologique; délimitation des étendues d'eau; humidité dans le sol
TM 5	1,55 - 1,75 (IR de courte longueur d'onde)	sensible à l'humidité dans le sol et les plantes; discrimination entre la neige et les nuages
TM 6	10,4 - 12,5 (IR thermique)	discrimination du stress de la végétation et de l'humidité dans le sol relié au rayonnement thermique; cartographie thermique
TM 7	2,08 - 2,35 (IR de courte longueur d'onde)	discrimination entre les minéraux et les types de roches; sensible au taux d'humidité dans la végétation

### Annexe III : L'ORPAILLAGE EN GUYANE :

Sources : *Patrick Blancodini, doctorant à l'Université de Lyon III, formateur à l'IUFM de Lyon*  
<http://www.ens-lsh.fr/geoconfluence/doc/transv/DevDur/DevdurDoc3.htm>

**Les entreprises d'orpillage ont une structure très hétérogène.** À côté des grandes entreprises nationales ou transnationales (COGEMA, Franc Or, WMC, Cambior, Golden Star / Guyanor, Asarco), œuvrent des petites entreprises, semi-industrielles, dirigées par des patrons Bushi-Nenge ou créoles qui forment une véritable bourgeoisie locale, emploient des équipes d'ouvriers brésiliens rompus aux tâches rudes. L'orpillage permet aux Bushi-Nenge de s'intégrer dans une économie monétaire en leur fournissant des revenus importants. La reprise vigoureuse de l'activité, depuis les années 1990, a provoqué un afflux de *garimpeiros* brésiliens ou surinamais, qui installent leur *placer* (gisement d'or alluvionnaire) plus ou moins légalement et importent leurs savoir-faire des grands chantiers d'exploitation aurifère du Mato Grosso, du Pará ou du Roraima (dragues suceuses par ex.). Sous-payés, car souvent clandestins, ils sont prêts à tout pour gagner un peu d'argent. Armés, violents, ils sont au centre des rivalités pour l'occupation de l'espace et l'utilisation des ressources. Des bandes organisées, les "maraudeurs" attaquent les grands chantiers et contribuent à faire de la région de Maripasoula un far-west moderne où règne l'insécurité. La consommation de drogues et d'alcool contribue à augmenter l'agressivité ambiante. D'autre part, les orpailleurs considèrent que l'accès à la ressource aurifère est un droit imprescriptible au même titre que l'accès à toutes les autres ressources "naturelles" accordé aux autres groupes de population. Il en résulte un "climat tendu où chaque communauté fait bloc contre l'autre" [2]. Les Amérindiens, qui participent rarement à l'orpillage, sont souvent en conflit avec les orpailleurs qui installent leurs sites sur leurs terres de parcours.

**L'État français a du mal à jouer sérieusement son rôle de garant de la paix sociale et les lois de la République** ne s'appliquent pas vraiment en forêt profonde. Les entreprises d'orpillage doivent obtenir d'abord une *Autorisation Personnelle Minière (APM)*, c'est-à-dire une autorisation de base délivrée pour 5 ans renouvelables par arrêté préfectoral après avis de la DRIRE. Cette autorisation permet de prospecter sans contrainte de localisation. Il faut ensuite entreprendre les démarches en vue d'obtenir un permis de recherche délivré par arrêté ministériel (permis de type A) pour une durée de 5 ans, renouvelables sans limite de surface imposée ou bien délivré par arrêté préfectoral (permis de type B), valable 2 ans renouvelables 2 fois et couvrant un carré de 5 km de côté. Par la suite, il faut mener des études de préféabilité. Mais dans les faits, de nombreuses petites entreprises qui emploient une dizaine d'ouvriers se servent de l'autorisation personnelle minière comme d'un titre d'exploitation. Le code minier français n'a pas vraiment envisagé ce type d'exploitation semi-artisanale, semi-industrielle. Ce flou juridique profite aux exploitants, d'autant plus que les contrôles sont difficiles : il faut accéder par hélicoptère ou en pirogue à des chantiers isolés et disséminés. La dizaine de gendarmes de Maripasoula ne peut suffire à couvrir la commune de France la plus étendue (1,84 million d'hectares !).

**L'orpillage cause de graves dommages à l'environnement.** Les phases d'exploitation et de récupération de l'or provoquent successivement le déboisement du site, parfois le détournement de la *crique* (cours d'eau), l'ouverture de fosses d'exploitation dans le *flat* par décapage des couches argileuses à la pelle hydraulique. Cette opération a pour conséquence provoque une déforestation qui peut être irréversible. Puis, les orpailleurs procèdent à l'*abattage* : une lance "monitor" projette un jet d'eau à haute pression sur les graviers et les sables contenant l'or. Les graviers sont ensuite récupérés par pompage et lavés dans une caisse sur fond de moquettes qui permet de récupérer le concentré ainsi obtenu. Les rejets d'eau contenant des matières en suspension perturbent l'écosystème des cours d'eau. Le concentré gravimétrique subit ensuite l'opération d'amalgamation au mercure. La distillation du mercure permet d'obtenir la "cassave" appelée aussi l'éponge d'or. Amalgame et distillation sont des moments délicats, tout rejet de mercure dans le milieu provoquant de graves contaminations [3].

## Petit glossaire géodésique<sup>1</sup> :

**Altitude** : l'altitude d'un point de la surface topographique est définie de manière très approchée par la distance entre le point et une surface de référence appelée Géoïde. Ne pas confondre avec la troisième dimension (Z) donnée par les récepteurs GPS lors d'un relevé terrain qui correspond elle à la distance entre le point considéré et l'ellipsoïde de référence (paramétré au niveau du récepteur GPS lui-même).

**Corrélation** : opération qui consiste à repérer dans deux images des points homologues afin de les raccorder les uns aux autres de façon cohérente d'un point de vue géométrique et radiométrique . Cette opération peut être totalement automatisée (corrélation automatique).

**Ellipsoïde** : l'ellipsoïde de révolution (sphère aplatie aux pôles) est un modèle mathématique de la terre utile pour faire des calculs et que l'on définit pour qu'il soit le plus près possible du géoïde. Il existe de nombreux modèles d'ellipsoïdes.

**Géocodage** : opération destinée à reconstituer une image d'une scène selon un carroyage et (ou) un système de représentation plane de la Terre différents de ceux des enregistrements initiaux. Elle comporte corrections géométriques, radiométriques, transformation de coordonnées et rééchantillonnage de pixels.

**Géoïde** : équipotentielle du champ de pesanteur qui correspond approximativement au niveau moyen des mers ouvertes.

**Géoréférencement** : action qui consiste à établir le lien image-terrain. Chaque pixel est alors positionné dans un référentiel cartographique.

**Mosaïque** : succession de scènes sélectionnées parmi un ensemble d'images afin de reconstituer au mieux l'objet photographié.

**Pixel** : plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée, définie par la maille d'échantillonnage.

**Rééchantillonnage** : opération qui consiste à affecter une valeur à des pixels dont les dimensions et/ou la position ont été modifiés par rapport aux pixels d'origine après une correction géométrique.

**Réflectance** : rapport du flux réfléchi par un milieu matériel sur un flux incident, intégré sur une direction.

**Résolution** : pouvoir séparateur.

**UTM** : (Universal Transverse Mercator)

Représentation plane cylindrique conforme transverse de l'ellipsoïde. La terre est divisée en 60 fuseaux de 6° d'amplitude, numérotés de 1 à 60 dans le sens direct. En Guyane, les cartes IGN utilisent la représentation UTM 22. En effet le DOM est englobé par le 22<sup>ème</sup> fuseau dont la longitude du méridien central vaut  $22 \times 6 - 183^\circ = -51$  soit 51° Ouest.

---

<sup>1</sup> La géodésie est la science qui étudie la forme et les dimensions de la Terre. Ce glossaire a été largement emprunté au rapport de A. Carayon (2000).

## **Bibliographie :**

AGRO (programme de recherche Appui aux Agricultures Familiales de la Région Ouest), 1993, Commercialisation des produits agricoles du Nord-Ouest guyanais. Etat des connaissances et perspectives, Rapport intermédiaire, Université des Antilles et de la Guyane, Cayenne, 28 p.

BERINGUIER Philippe, DERIOZ Pierre, LACQUES Anne-Elisabeth, 1999, « Les Paysages français », Armand Colin Editeur, 95 p.

BERTRAND Claude et Georges, 2002, « Une géographie traversière », Editions Arguments, 311 p.

BONN Ferdinand, ROCHON Guy, 1992, « Précis de Télédétection », Vol. 1 : « Principes et Méthodes », Vol. 2 : « Applications thématiques », Presses de l'Université du Québec / AUPELF, 1992, 485p.

BRULEAUX Anne-Marie, CALMONT Régine, MAM LAM FOUK Serge, 1986, Deux siècles d'esclavage en Guyane française 1652-1848, L'Harmattan, Paris, 341 p.

CARAYON A., 2000, Amélioration d'une chaîne d'acquisition et de traitement d'images vidéo aériennes en région amazonienne, Mémoire Ingénieur ESGT, 19 juin 2000, CNAM-ESGT

CLASSEAU N., 2002. « Apport de l'imagerie satellitaire radar à des études environnementales : Exemples en Guyane française ». Thèse de doctorat en « Sciences de l'Information Géographique », Université de Marne-La-Vallée, 2002, 159 p.

DI MEO Guy, 1998, Géographie sociale et territoires, coll. Fac Géographie, Nathan Université, Paris, 317 p.

FABRI Claude, GARGANTA Eliane, BELLANDE Alex, BORY Antoine, 1996, Les agricultures familiales du Nord-Ouest Guyane - complexité et diversité, rapport final de recherche du programme Appui aux Agricultures Familiales de la Région Ouest, Université des Antilles et de la Guyane, Association de Réflexion sur les Agricultures Caribéennes (ARECA), Cayenne, 68 p.

FAURE Jean-François, TRAN Annelise, GARDEL Antoine, POLIDORI Laurent, 2004, « Elaboration d'un indice de densité de population et analyse de sa distribution spatiale à Belém (Brésil) et Cayenne (Guyane française), 12 p.

FERMIN Philippe, Description générale, historique, géographique et physique de la colonie de Surinam, contenant ce qu'il y a de plus curieux & de plus remarquable, touchant sa situation, ses rivières, ses forteresses; son gouvernement & sa police; avec les mœurs & les usages des habitants naturels du pays, & des Européens qui y sont établis; ainsi que des éclaircissements sur l'économie générale des esclaves nègres, sur les plantations & leurs produit, les arbres fruitiers, les plantes médicinales, & toutes les diverses espèces d'animaux qu'on y trouve, etc., Amsterdam, E. van Harrevelt, 1769.

FILLERON Jean-Charles, LE FOL Jérôme, FREYCON Vincent, 2003, « Diversité et originalité des modelés forestiers guyanais », in « Revue Forestière Française : connaissance et gestion de la forêt guyanaise », Numéro spécial 2003, pp. 19-36.

GACHET J.-P., 1995. « L'agriculture de défriche en Guyane, mise en perspective historique ». Le Courrier de l'Environnement de l'INRA, N° 26, décembre 1995, 4 p.

GACHET Jean-Paul, 1995, « L'agriculture de défriche en Guyane, Mise en perspective historique », Le Courrier de l'environnement de l'INRA n°26, décembre 1995

GACHET Jean-Paul, GARGANTA Eliane, TOULEMONDE Myriam, 1990, « La Guyane française : une mini-frontière amazonienne. Mouvements migratoires et transformation des systèmes de productions agricoles », in Linck Thierry (éd. scient.), Agricultures et paysanneries en Amérique Latine. Mutations et recompositions, actes du colloque international de Toulouse, 13-14 déc. 1990, Réseau Amérique latine GDR 26 CNRS, Colloques et Séminaires, ORSTOM éditions, Paris, pp. 187-189.

GARDEL Antoine, 2000, « Télédétection et enjeux d'aménagement en contexte urbain tropical : application à l'île de Cayenne, Guyane », Thèse de Doctorat de Géographie, Université du Littoral Côte d'Opale, soutenue le 8 novembre 2000 à Dunkerque, 195 p. + annexes

- GARGANTA Eliane, 1989, Système agraire et dynamiques agricoles à Mana (Guyane), Mémoire de Magistère de Développement Agricole Caraïbe, Université Antilles-Guyane, Cayenne, Pointe-à-Pitre, 161 p.
- GIRARD Michel-Claude & GIRARD Colette, 1999, « Traitement des données de Télédétection », DUNOD, 529 p.
- GIROUX D. et SOUMIS N., 2000. « Aspects de la problématique développement et conservation en Amazonie brésilienne ». Vertigo - La revue en sciences de l'environnement sur le WEB, Vol 1 No 1, Avril 2000, 24 p.
- GOND Valéry, PETIT Michel 2005, « Potentiel de la télédétection pour la surveillance de l'orpaillage », Rapport de consultance : IRD - Conseil Régional de Guyane, 2005
- GODARD V., Cours de Télédétection, Département de Géographie, Université de Paris 8
- IRD, 2001, « Cartographie agro-pédologique des sols guyanais à partir des documents existants et intégration dans un SIG », Rapport général de foire de convention IRD(US 018 Valpedo) -EPAG, 145 p.
- IRD, 1999, « Cartographie des zones humides du littoral guyanais : spatialisation des connaissances actuelles sur les milieux dans la perspective d'un développement durable d'activités de carrières », Rapport final de la Convention IRD / DIREN N° 9046, 1999, 17 p., 18 cartes A3.
- LAQUES Anne-Elisabeth , 2003, “ Dynamique d'un front pionnier en domaine forestier tropical : le cas de Ticoporo (Piémont des Andes Vénézuéliennes) », Thèse de Doctorat en Géographie et Aménagement, Université de Toulouse le Mirail, 1993, 209 p.
- LAQUES Anne-Elisabeth , 2003, “ Le front pionnier de Sao Felix do Xingu (Amazonie brésilienne) : Quels indicateurs pour l'analyse de ses dynamiques spatiales ? ” in "Objets et indicateurs géographiques", UMR ESPACE, Actes Avignon n°5. (Article téléchargeable à l'adresse : <http://www.geo.univ-avignon.fr>)
- LAQUES Anne-Elisabeth, 2004. «Paysages et modèles paysagers : des indicateurs géographiques pour l'analyse des dynamiques spatio-temporelles d'un front pionnier ». L'Espace Géographique N°4, 2004, 11 p.
- LE TOURNEAU François-Marie, DROULERS Martine, 2002. « Suivi de la colonisation en Amazonie (Etat d'Amapa) à partir d'images ERS ». in Actes du SAR Workshop, organisé par le CEOS Working Group on Calibration and Validation (Agence Spatiale Européenne) à Toulouse du 26 au 29 octobre 1999, Document ESA SP-450, Mars 2000.
- LEZY Emmanuel, Guyane, Guyanes : une géographie « sauvage » de l'Orénoque à l'Amazone, coll. Mappemonde, Belin 2000.
- LOUDIYI Selma, ANGEON V., LARDON S., 2004, “Capital social et développement territorial. Quel impact spatial des relations sociales ? », 16 p.
- MAM LAM FOUK Serge, 1999, La Guyane française au temps de l'esclavage, de l'or et de la francisation (1802-1946), Collection Espaces guyanais, Ibis Rouge éditions, Petit-Bourg, Guadeloupe, 388 p.
- MASTEAU Anne., 1997, La frontière franco-brésilienne de l'Oyapock. Guyane Amapa, Thèse de troisième cycle, Université de Paris III, Paris.
- MASTEAU A., 1999. « Une gestion environnementale pour l'Amérique latine (Guyane française - Équateur) : Le parc de la forêt tropicale guyanaise ». Cahiers des Amériques latines, Deuxième série - n ° 27 – 1999, Dialogue, pp 23-53
- NOUAILLE Clarisse, PIANTONI Frédéric, 1995, « L'impact économique de l'immigration surinamaïse dans le Nord-Ouest guyanais : le cas des communes de Saint-Laurent du maroni et de Mana », Mémoire de maîtrise, Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III , Institut d'Aménagement Régional, 157 p.
- ORRU Jean-François, 2001, « Les communautés isolées de Guyane et la France, de la colonisation à la globalisation », Thèse de Doctorat en Géographie, Université Paris III, La Sorbonne le 11 déc. 2001
- PAEGELOW Martin, 2005, « Géomatique et géographie de l'environnement. De l'analyse spatiale à la modélisation prospective », Habilitation à diriger des recherches, Université de Toulouse la Mirail, Tome I, 211 p.

- PARALIEU Nathalie, 1991, Dynamique d'occupation et de mise en valeur agricole le long des axes routiers du Nord-Ouest de la commune de Mana (Guyane), Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université de Bordeaux III, Bordeaux, 98 p.
- PARMENTIER Alexis, DEMENOIS Julien, 2004, « Prise en compte dans l'aménagement et la gestion des forêts de Guyane des usages forestiers par leurs populations riveraines : Etude de cas : la forêt de Balaté », Document Silvolab Guyane, Projet financé dans le cadre du XII<sup>ème</sup> CPER DOCUP.
- PAVE Alain, 2004. « Programme Amazonie : Programme interdisciplinaire Analyse, modélisation et ingénierie des systèmes amazoniens », CNRS Guyane, 2004, 73 p.
- PIANTONI Frédéric, 1996, « Implication des dynamiques migratoires dans le processus de territorialisation du Nord-Ouest Guyanais », D.E.A « Migrations, Espaces et Sociétés », Université de Poitiers, 19 sept. 1996, 93 p.
- PIANTONI Frédéric, 2002, « Pouvoir national et acteurs locaux : l'enjeu des mobilités dans un espace en marges. Le cas de la Guyane française », Thèse pour le Doctorat de Géographie, Université de Poitiers, UFR des Sciences Humaines et Art, 5 janvier 2002,
- POLIDORI Laurent, 1997, « Cartographie Radar », Gordon & Breach Science Publishers, 287 p.
- POLIDORI L., FOTSING J.-M., ORRU J.-F. (2001) Déforestation et orpaillage : apport de la télédétection pour la surveillance de l'occupation du sol en Guyane française. In : Le mercure en Amazonie : rôle de l'homme et de l'environnement, risques sanitaires. IRD (Paris), 473-494.
- POLIDORI Laurent, COUTERON Poerre, GOND Valéry, PROISY Christophe, TRICON Valérie, 2003, « Télédétection et caractérisation des paysages amazoniens », in « Revue Forestière Française : connaissance et gestion de la forêt guyanaise », Numéro spécial 2003, pp. 101-117
- POLIDORI Laurent, 2005, Les produits géographiques du futur dans la vie des citoyens. In Revue XYZ N° 104, 3<sup>e</sup> trimestre 2005.
- REINETTE Y., 2005, « Evolution des droits de propriété, insécurité juridique et recomposition de territoires en Guyane française », Poster réalisé pour le XXV<sup>ème</sup> congrès mondial de la population, IUSSP, Tours, France, 18-23 juillet 2005-09-20
- RICHARD A., 2004, « La formation du territoire chez les Kali'nas et les Hmongs en Guyane française. Essai méthodologique », Mémoire de maîtrise, Université de Toulouse le Mirail, UFR Sciences Espaces et Sociétés, 113 p.
- SELLERON G., 1995. « De LANDSAT-MSS à SPOT : 14 années de déforestation continue sur un front pionnier vénézuélien ». PHOTO-INTERPRETATION N° 1995/2, pp. 97-103.
- SELLERON G., 2004. « Analyse d'un front pionnier par images multi dates de 1987 à 2002. Le cas du nord-ouest du Petén (Guatemala) ». Cybergeog : Revue européenne de géographie, N° 290, 28 octobre 2004, 23 p.
- SELLERON G., 2004. « De l'espace géographique à l'espace social : une intégration spatio-temporelle en cours de construction sur un front pionnier du Guatemala ». Espace Géographique e Sociéé, UMR ESO, octobre 2004, [http://eso.cnrs.fr/evenements/resumes\\_10\\_2004.html](http://eso.cnrs.fr/evenements/resumes_10_2004.html)
- TOULEMONDE-NIAUSSAT Myriam, 1989, " Histoire d'"ethnies" : éléments pour une analyse des mouvements de population sur le Maroni ", in Jolivet Marie-José (coord.), 1989, Question d'identités comparées, ORSTOM, Paris, pp. 97-125.
- TOULEMONDE-NIAUSSAT Myriam, 1993, Anthropologie des dynamiques interculturelles et de développement dans la région frontalière du Bas-Maroni (Guyane française), Thèse d'Anthropologie des dynamiques interculturelles, Université de Tours, Tours, 276 p.
- TRAN Annelise, 2004, « Télédétection et Epidémiologie : mise au point d'indicateurs environnementaux et de modèles dynamiques pour la surveillance de maladies à transmission vectorielle. Cas de la dengue en Guyane », Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, 18 nov. 2004

TRAN Annelise, POLIDORI Laurent, « Evaluation d'une chaîne de traitement de données laser altimétriques », Rapport de travaux réalisés au LRT de Cayenne dans le cadre de la Convention 9054 entre la société ALTOA et le LRT « Appui technique pour la mise en place d'une chaîne d'acquisition et de traitement de données laser altimétriques », 25 p.

TRAN Annelise, 2000, « Application de la Télédétection hyperspectrale à la cartographie et l'étude des formations végétales du marais de Kaw », Programme National de Recherches sur les Zones Humides (PNRZH), juin-sept. 2000, 41 p.

TRAN Annelise, 2001, « Télédétection et épidémiologie des maladies transmissibles en Guyane. Cas du paludisme et de la fièvre Q », Projet commun Institut Pasteur de la Guyane – IRD, déc. 2000 – oct. 2001, 40 p.

TSAYEM Moïse, 1999, « SIG et cartographie de l'occupation du sol : l'exemple de Saint-Georges de l'Oyapock en Guyane française », Sécheresse, n° 4, vol. 10, pp. 289-295.

TSAYEM Moïse - Caractérisation et suivi de la déforestation en milieu tropical par télédétection : application aux défrichements agricoles en Guyane française et au Brésil. Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléans, 242 pages, 2002.

TSAYEM Moïse, Fotsing J.M., Huynh F. - La déforestation dans la région de Saint-Georges de l'Oyapock (Guyane française). In Cahiers d'Outre Mer, 55 (218), mars-juin 2002, p.p. 197-222.

TSAYEM Moïse, Polidori Laurent, Fotsing Jean-Marie, 2001, « Caractérisation multi-échelle et multi-capteur de la déforestation tropicale amazonienne ». In Bulletin de la Société Française de Photogrammétrie et Télédétection, n° 161, pp. 74-84, 2001.

VENTURIERI Adriano, Laques A-E, Adelaide Lombardo M-G 2003. “Utilização de imagens de satélite na caracterização de tipos paisagísticos na frente pioneira de Uruará, Pará”. Article accepté et qui sera présenté au XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, du 05 au 10 avril 2003.

VERGER Gaëlle, 2004, « Etude et suivi des impacts liés à l'ouverture des pistes en Guyane française par imagerie satellitale : mise en place d'un outil pour l'aménagement du territoire », DESS « Maîtrise d'ouvrage en Aménagement Urbanisme & Aménagement Environnemental et Paysager », CESA – CIRAD, Novembre 2004.

VERSTEEG A.H., 1999, Peuplements et environnements dans les Guyanes entre 10.000 et 1.000 BP, Séminaire Atelier Peuplements anciens et actuels des Forêts tropicales, 15-16 octobre 1998, Laboratoire Ermes/Orstom, Orléans

VISSAC B., VIVIER M., 1992, « les fusées et la forêt amazonienne cacheraient-elles les Indiens ? histoire de plans d'Etat et rôle de la Recherche agronomique », Le Courrier de la Cellule Environnement n°16, avril 1992