

Typologies et Biodiversité des mangroves de Nouvelle-Calédonie



Coordonneurs : Cyril Marchand (IRD) et Pascal Dumas (UNC)

Participants : Sabrina Virly (SVC), Damien Buisson (DTSI), Norman Duke (UQ)

Présentation générale du rapport

L'étude intitulée « Typologies et biodiversité des mangroves de Nouvelle Calédonie », réalisée dans le cadre du programme ZoNéCo, a permis d'acquérir une meilleure connaissance des mangroves de Nouvelle-Calédonie en termes de richesse spécifique, de superficie et de distribution des différentes formations végétales. Par ailleurs, une cartographie de l'ensemble des mangroves de la Grande Terre a été réalisée. Le présent rapport est composé de 4 parties. La 1^{ère} partie concerne l'évaluation de la biodiversité des mangroves ainsi que l'influence des facteurs biogéographiques sur la répartition des palétuviers. La 2nde partie concerne les interactions entre les palétuviers et leurs substrats. La 3^{ème} partie a été consacrée à des développements méthodologiques pour la cartographie des mangroves à partir d'images SPOT 5. Finalement, la dernière partie concerne la cartographie des mangroves à partir d'images aériennes ; des tableaux avec les superficies des différentes formations de mangroves rencontrées y sont présentés. Les différentes cartes réalisées lors de cette opération sont présentées sous la forme d'un atlas accompagnant le présent rapport.

Sommaire

1/ Biodiversité des mangroves de Nouvelle-Calédonie	3
2/ Relations entre les caractéristiques physico-chimiques des sédiments de mangrove et le type des palétuviers - <i>Implications sur la répartition spatiale des espèces</i> -	47
3/ Développement méthodologique pour la cartographie des mangroves à partir d'images SPOT 5	67
4/ Cartographie des mangroves de Nouvelle-Calédonie – <i>Identification par photo interprétation et acquisition de données sur le terrain</i> -	151

Biodiversité des mangroves de Nouvelle Calédonie



Norman C. Duke

Décembre 2007

**Centre for Marine Studies
University of Queensland, Brisbane, QLD Australia**

Résumé

Cette évaluation de la biodiversité des mangroves de Nouvelle Calédonie s'appuie sur des observations de terrain de 35 mangroves situées de part et d'autre du littoral. 24 espèces de palétuviers ont été identifiées. 4 espèces ont été observées pour la 1^{ère} fois en Nouvelle-Calédonie, et la présence de 2 autres a été infirmée. Une nouvelle espèce de *Rhizophora* hybride endémique à la Nouvelle-Calédonie a été découverte. Cette espèce a été nommée *R. X neocaledonica*. Le présent rapport contient des cartes de distribution des différentes espèces ainsi que des notes descriptives de ces espèces. Des cartes de distribution des palétuviers en fonction de la salinité des eaux sont présentées pour les 10 principaux estuaires de la Nouvelle-Calédonie. Finalement, une discussion sur les facteurs biogéographiques influant sur la répartition des mangroves dans le Pacifique est abordée.

Sommaire

Introduction

Survey Sites and Locations

Floristics of New Caledonian mangroves

Biodiversity

Mangrove Hybrids

Biogeography and Ecology

Southern Distributional Limits - Temperature and niche availability

Distributional Patterns – General Climatic Considerations

Distribution of Species Between Estuarine Locations - Catchment size and rainfall

Mangrove Distributions Within Estuaries --- Salinity and estuarine position

Descriptive Notes

Key to 24 mangrove taxa of New Caledonia

Descriptions of individual species – notes and distribution

Appendices – site table, species checklists, pictures

Introduction

During November-December 2006, the mangrove flora of New Caledonia was surveyed in considerable detail. This report provides an account of the key observations obtained, along with a re-assessment of the ecology and biogeography of mangrove vegetation in the region. The report specifically includes: 1) a revised species list showing 24 mangrove plant types (see Table 1), consisting of three previously unreported, one newly identified endemic, while two are listed as being unlikely to be present based on unconfirmed prior sightings; 2) species checklists for 35 major mangrove communities around the island (Appendices 1 & 2); 3) upriver species checklists for 10 major estuaries identify previously unknown patterns of upstream distribution and salinity; and 4) selected morphological characteristics of key taxa support a broad understanding of the origins and dispersal affiliations of mangroves in the region.

In view of key published references to New Caledonian mangroves (Forster 1786; Saenger et al. 1977; Schmid 1981; Ellison 1995; Lowry et al. 1998, 2004; Jaffre et al. 2001; Munzinger & Lebigre 2005), this new treatment offers additional observations and descriptions of individual species and their whereabouts. The most recent account was by Munzinger and Lebigre (2005) who listed 22 mangrove taxa (= species and hybrids). This represents a notable increase on the 16 listed a decade earlier by Ellison (1995). The 2006 survey confirmed much of information reported by Munzinger and Lebigre based on their review of local Herbarium collections and records. However, the current survey further extends this work regards species presence and their respective distributions around the island.

Survey Sites and Locations

At least 131 sites were sampled at 35 locations around the main island of New Caledonia during November and December 2006. In Figure 1, the locations are shown with 10 having between 5-20 additional sites sampled along respective riverine estuaries from river mouth to the furthest tidal extent upstream (in each case, where practical). At each site, species of mangrove plants present were identified, photographed, site coordinates recorded, and channel water was selectively sampled for salinity. Surveys were conducted either on foot, from a small kayak, or from a 4m runabout.

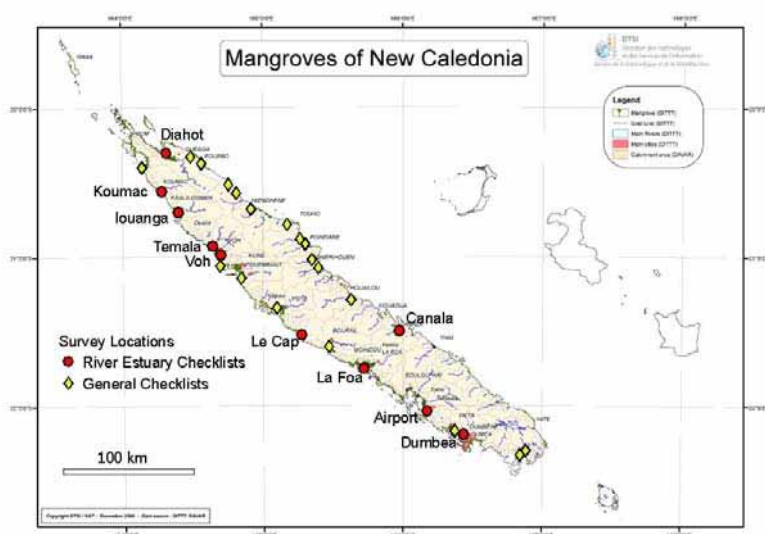


Figure 1. Sites surveyed in New Caledonia during December 2006. See Appendix 1 & 2 for additional details of these sites and locations.

In conjunction with botanical surveys described in this report, concurrent geographical reference data were obtained for future mapping of tidal wetlands (Virly), and sampling for the assessment of character and condition of mangrove and tidal wetland soils (Marchand).

Floristics of New Caledonian mangroves

Biodiversity

The survey in Nov-Dec 2006 identified 24 mangrove plant taxa (i.e., species and hybrid species), comprising 15 genera from 13 plant families (see Table 1). One species, *Cynometra iripa*, was included based only on Herbarium records and the account by Munzinger & Lebigre (2005). The newly described mangrove flora of New Caledonia comprises four hybrids, one of which, *Rhizophora* X *neocaledonica* is described for the first time after being discovered at three locations during the survey. One other hybrid, *Lumnitzera* X *rosea*, found in three locations, had only been described previously from one other location in north-eastern Australia and the putative Type locality in The Philippines (Tomlinson et al., 1978).

Table 1. Mangrove plant taxa in New Caledonia (Ellison 1995; Munzinger & Lebigre 2005; Duke 2007, based on surveys conducted in November-December 2006). Total of 24 species, plus one other [*present, not confirmed; [A] absent, mistaken determination]. And, *Rhizophora* X *neocaledonica* N.C. Duke, first described in the current survey, is a newly described endemic taxon.

Plant Family	Taxa (Species & hybrids)	Code	Ellison	Munzinger	current
Acanthaceae	Acanthus ilicifolius	AI		X	X
Pteridaceae	Acrostichum aureum	AA		X	X
	Acrostichum speciosum	AS			X
Avicenniaceae	Avicennia marina var. australasica	AM	X	X	X
Rhizophoraceae	Bruguiera gymnorhiza	BG	X	X	X
	(? Bruguiera sexangula)		X	X	[A]
Rhizophoraceae	Ceriops tagal	CT	X	X	X
Caesalpiniaceae	Cynometra iripa *	CI		X	?*
Bignoniaceae	Dolichandrone spathacea	DS		X	X
Euphorbiaceae	Excoecaria agallocha	EA	X	X	X
Sterculiaceae	Heritiera littoralis	HL	X	X	X
Combretaceae	Lumnitzera littorea	LL	X	X	X
	Lumnitzera racemosa	LR		X	X
	Lumnitzera X rosea	LX			X
Lythraceae	Pemphis acidula	PA			X

Rhizophoraceae	Rhizophora apiculata	RA	X	X	X
	Rhizophora X lamarekii	RL	X	X	X
	Rhizophora X neocaledonica hybrid sp. nov.	RX			X
	Rhizophora samoensis	RO	X	X	X
	Rhizophora X selala	RE	X	X	X
	Rhizophora stylosa	RS	X	X	X
Rubiaceae	Scyphiphora hydrophylacea	SH	X	X	X
Sonneratiaceae	Sonneratia alba	SA	X	X	X
	Sonneratia caseolaris	SC		X	X
Meliaceae	Xylocarpus granatum	XG	X	X	X
	(? Xylocarpus moluccensis)		X	X	[A]
>>>	TOTAL Recognised		16	22	24

Two species, *Bruguiera sexangula* and *Xylocarpus moluccensis*, are no longer considered part of the New Caledonian mangrove flora since they appear to have been mistakenly confused with respective congeners, *Bruguiera gymnorhiza* and *Xylocarpus granatum*. One other species, *Cynometra iripa*, was not also found during the survey, but listed as present based on the single Herbarium collection cited by Munzinger & Lebigre (2005).

Avicennia marina present throughout New Caledonia was assigned as var. *australasica* based on its distinctive morphological traits on flower buds and foliage Duke (2006). This occurrence identifies what might be considered a distinctly Australasian mangrove component, as compared with those more aligned with an Asian component, like *Ceriops tagal*, *Dolichandrone spathacea*, *Sonneratia caseolaris*, and even local traits of *Sonneratia alba* and *Rhizophora apiculata*.

Rhizophora taxa are the most complex part of all components of the New Caledonian mangrove flora. The genus is represented by six local taxa, consisting of three species and three hybrids. The three parent species are each derived from distinctly different mangrove components with: *R. apiculata* having strongest affinity with its typical Asian variant; *R. stylosa* having affinity with those observed in eastern Australia; and *R. samoensis* having closest affinity with *R. mangle* from the Atlantic East Pacific (AEP) flora. The presence of extensive hybrid stands of each parental crossover suggests these associations are not recent. It also says a lot about *Rhizophora* evolution where not even the most distinctive of species are genetically divergent enough to avoid hybridisation when they grow alongside each other.

The observations of the mangrove flora of New Caledonia noted above indicate its complex make-up. The location of New Caledonia in the south west Pacific makes it a unique biogeographical setting – being the interface and major crossover site between three global regions. While there are no endemic species, apart from the endemic hybrid taxon, there are some morphological traits that are especially well-developed or unique to New Caledonia. The most notable was the red colouration in many *Bruguiera gymnorhiza* trees. This is manifest with some trees having a distinctively dark appearance. Dark trees have both red and green pigments within their foliage that appears as reddish in those plant

parts that are normally lighter green, like around apical shoots, young leaves and stems. The ‘red’ condition was also more common in southern estuaries with a noticeable decline in the proportion of ‘red’ trees in sites further north. As a matter of interest, the pigment colouration was not accompanied by any corresponding morphological traits between ‘red’ and ‘green’ variants. Nor were there any differences in floral phenology or growth form. It is curious to reflect on a possible association with the ‘albino’ trait previously reported in several mangrove genera, but restricted to propagules (Duke and Watkinson 2002).

Mangrove Hybrids

New Caledonian mangrove communities are distinguished by four relatively widespread hybrid species. These have been derived within two common genera, *Lumnitzera* and *Rhizophora*. In most cases, hybrid taxa are distinguished by shared morphological characteristics of two putative parents in each case. During the survey, hybrid taxa were typically located in areas where both parental species co-existed. In each case, one parent was notably widespread while the other had a more limited distribution. The four hybrids and their respective putative parental associates are listed as follows:-

Lumnitzera X *rosea* = *L. racemosa* X *L. littorea*

Rhizophora X *lamarckii* = *R. stylosa* X *R. apiculata*

Rhizophora X *selala* = *R. stylosa* X *R. samoensis*

Rhizophora X *neocaledonica* = *R. samoensis* X *R. apiculata*

The latter hybrid taxon, *Rhizophora* X *neocaledonica*, is new to science, being observed and reported for the first time with the current survey. A full description of this new hybrid species, being the only endemic mangrove taxon in New Caledonia, is currently being prepared for publication.

Munzinger & Lebigre (2005) proposed there might also be a *Sonneratia* hybrid, *S. X gulngai*, present since both parents co-exist in some estuaries. This was considered and investigated during the recent survey but no *Sonneratia* hybrid was located.

Regional Biogeography and Ecology

Southern Distributional Limits – temperature and niche availability

Mangrove distributions are primarily limited by temperature and niche availability (Duke et al. 1998). The southern limits of species in southern latitudes are therefore considered defining characteristics of respective species. A comparative list is presented in Table 2, shows southern distributional limits of mangrove species in New Caledonia and their equivalent limit on the Australian east coast. Many closely match those in Australia.

Table 2. Southern limits of mangrove taxa in eastern Australia (Duke 2006) and New Caledonia. * new observation. Light blue shading signifies New Caledonian species that extend furthest south. Pink shading signifies Australian species at comparable latitudes but absent from New Caledonia.

Taxa (Species & hybrids)	Australia Latitude	Australian Location	New Caled. Latitude S	New Caled. Location
<i>Acanthus ilicifolius</i>	23° 31' S	Fitzroy River	22° 11' S	Dumbéa River
<i>Acrostichum aureum</i>	16° 17' S	Daintree River*	21° 31' S	Canala River
<i>Acrostichum speciosum</i>	29° 26' S	Clarence River	22° 20' S	Baie du Carénage
<i>Aegialitis annulata</i>	25° 26' S	Fraser Island		absent
<i>Aegiceras corniculatum</i>	36° 33' S	Merimbula Lake		absent
<i>Avicennia marina</i> var. <i>australasica</i>	38° 45' S	Corner Inlet	22° 18' S	Corniche Sud
<i>Bruguiera exaristata</i>	23° 49' S	Port Curtis		absent
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	30° 13' S	Moonee Creek	22° 20' S	Baie du Carénage
<i>Bruguiera parviflora</i>	21° 09' S	Pioneer River		absent
<i>Ceriops australis</i>	27° 04' S	Coomera River		absent
<i>Ceriops tagal</i>	21° 24' S	Sarina Inlet	20° 16' S	Diahot River
<i>Cynometra iripa</i>	21° 09' S	Pioneer River	20° 52' S	Tiwaka River
<i>Dolichandrone spathacea</i>	12° 10' S	Olive River	21° 01' S	Tchamba River
<i>Excoecaria agallocha</i>	31° 53' S	Manning River	22° 20' S	Baie du Carénage
<i>Heritiera littoralis</i>	22° 15' S	St Lawrence	22° 18' S	Corniche Sud
<i>Osbornia octodonta</i>	25° 30' S	Tin Can Bay		absent
<i>Lumnitzera littorea</i>	18° 31' S	Herbert River	22° 20' S	Baie du Carénage
<i>Lumnitzera racemosa</i>	27° 04' S	S Moreton Bay	22° 18' S	Corniche Sud
<i>Lumnitzera X rosea</i>	18° 16' S	Missionary Bay	22° 02' S	South of Tontouta
<i>Pemphis acidula</i>	24° 01' S	Bustard Head	20° 34' S	Koumac River
<i>Rhizophora apiculata</i>	22° 35' S	Port Clinton	21° 31' S	Canala River
<i>Rhizophora X lamarckii</i>	22° 35' S	Port Clinton	21° 31' S	Canala River
<i>Rhizophora X neocaledonica</i>		absent	21° 31' S	Canala River
<i>Rhizophora samoensis</i>		absent	22° 18' S	Corniche Sud
<i>Rhizophora X selala</i>		absent	22° 18' S	Corniche Sud
<i>Rhizophora stylosa</i>	30° 53' S	South West Rocks	22° 20' S	Baie du Carénage
<i>Scyphiphora hydrophyllacea</i>	24° 01' S	Bustard Head	21° 31' S	Canala River

Sonneratia alba	22° 35' S	Port Clinton	22° 18' S	Corniche Sud
Sonneratia caseolaris	18° 05' S	Murray River	21° 01' S	Tchamba River
Xylocarpus granatum	25° 26' S	Fraser Island	22° 18' S	Corniche Sud
Xylocarpus moluccensis	23° 52' S	South Trees Inlet		absent

However, there are at least two notable observations to be made from this table of evidence. First, there are five New Caledonian mangrove species that extend to higher latitude sites. At least one, *Dolichandrone spathacea*, is significantly different. All these species are notable components of the Asian mangrove flora. Furthermore, the three *Rhizophora* taxa also absent in Australia, represent the Atlantic East Pacific (AEP) flora as noted above. The second observation concerns those Australian species absent in New Caledonia at comparable latitudes. These are recognised components of the Australasian mangrove flora. Their absence in New Caledonia demonstrates its long separation and isolation from Australia. The presence of a much stronger Asian component in New Caledonia further reveals its greater connection with that region. In fact, it appears the connection between New Caledonia and Asia has been greater than that between Australia and Asia.

Distributional Patterns – General Climatic Considerations

New Caledonian mangrove taxa can be classified into four regional distributional groupings (based on the 35 sites visited during the current survey, see Appendices 1 & 2 – respective numbers of sites for each species is given below in brackets), including: 1) generalists, 2) north restricted, 3) moisture preferring, and 4) an arid specialist. Note that hybrids occur where parental distributions overlap. Figure 2 shows mean rainfall variation across New Caledonia.

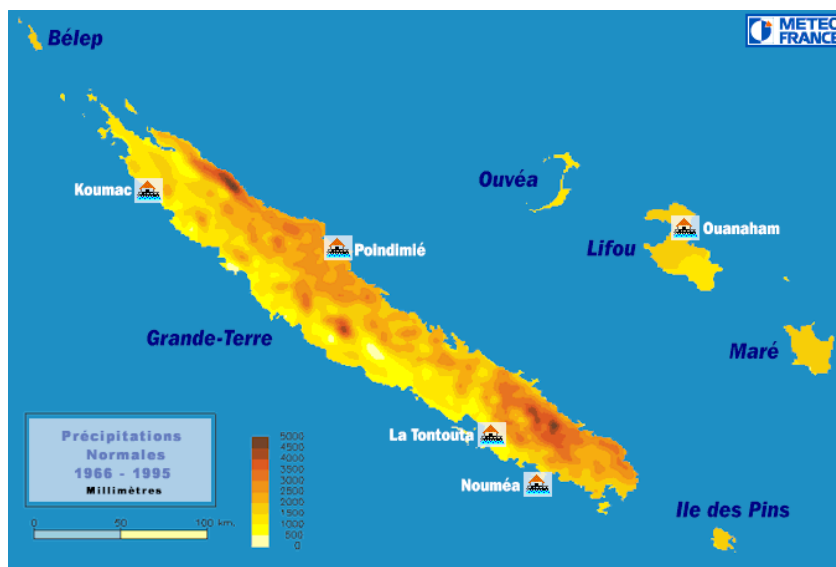


Figure 2. Mean annual rainfall for New Caledonia (1966-1995).

Generalists. Seven species are widespread and may be considered ubiquitous to most estuaries around New Caledonia, including: *Rhizophora stylosa* (26), *R. samoensis* (28), their dependant hybrid *R.X selala* (21), *Acanthus ilicifolius* (18), *Avicennia marina* (28), *Bruguiera gymnorhiza* (30) and *Excoecaria agallocha* (29).

North restricted. Eight species appear limited to northern latitudes, including: *Ceriops tagal* (1), *Scyphiphora hydrophylacea* (5), *Pemphis acidula* (1), *Dolichandrone spathacea* (2), *Acrostichum aureum* (2) and *Rhizophora apiculata* (10) plus dependant hybrids *R.X neocaledonica* (4) and *R.X lamarckii* (6).

Moisture Preferring. Ten species are more commonly found in areas of higher rainfall, including: *Acrostichum speciosum* (19), *Heritiera littoralis* (14), *Sonneratia alba* (16), *Lumnitzera littorea* (12), and *Xylocarpus granatum* (17). *Rhizophora apiculata* and its two hybrids, *R.X lamarckii* and *R.X neocaledonica* are not only restricted to north estuaries but also the more moist areas. *Sonneratia caseolaris* (5) and *Cynometra iripa* (1) prefer areas of highest rainfall.

Arid Specialist. One species, *Lumnitzera racemosa* (16), is largely restricted to areas of low rainfall, notably along the western coastline. Its hybrid form, *L.X rosea* (2), occurs at both northern and southern overlap zones with the moisture restricted, *L. littorea*.

Distribution of Species Between Estuarine Locations - catchment size and rainfall

Further to the general groupings noted above, there are tangible patterns that relate specifically to catchment size and rainfall. The distribution of mangrove biodiversity shown in Figure 3, shows that maximal species numbers occur towards the north and east of the island.

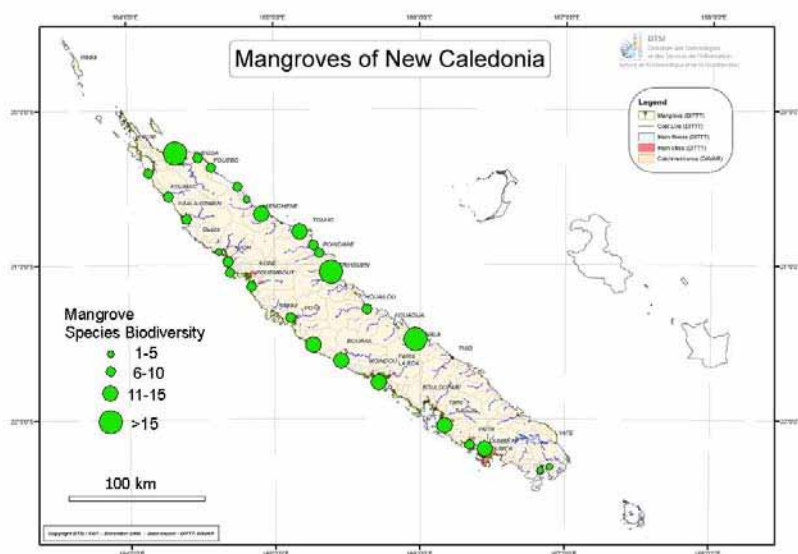


Figure 3. Mangrove biodiversity for surveyed locations in New Caledonia.

Species numbers are not directly correlated with rainfall. The plot in Figure 4 shows a simple polynomial equation of best fit that suggests the influence of rainfall increases up to 2000 mm mean annual rainfall, and peaks around 2,000-2,500 mm after which biodiversity was notably reduced. Comparable observations have been made for northern Australian mangrove floras by Duke (1992).

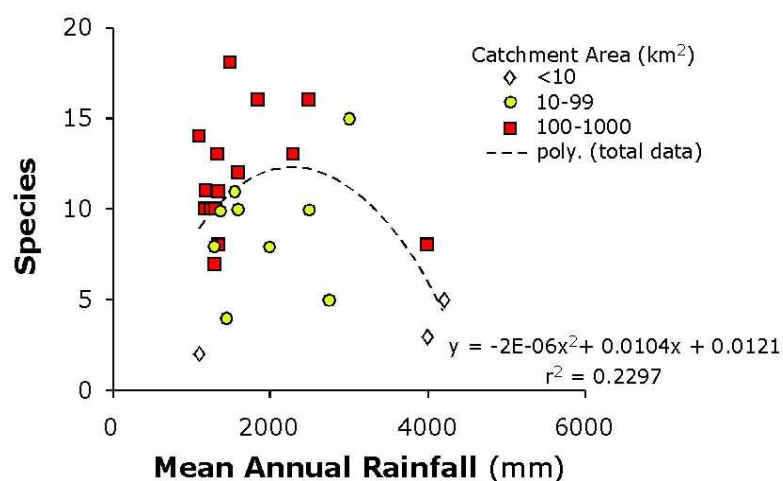


Figure 4. Mangrove biodiversity and mean annual rainfall grouped by catchment area for estuarine locations in New Caledonia. ($r=0.4600$; $n=28$; $P<0.05$).

Of further interest is the influence of catchment size. Figure 4 shows also that the relationship with rainfall can be improved by grouping the data by catchment area. General catchment, or watershed, areas are shown for New Caledonia in Figure 5. Note how these extend in a relatively homogeneous spread along the length of the island. Also note catchment area estimates listed in Appendix 1. The one notably large catchment is the Diahot River catchment situated in the north of the island. This maximal catchment size for New Caledonia has an area of 689 km².

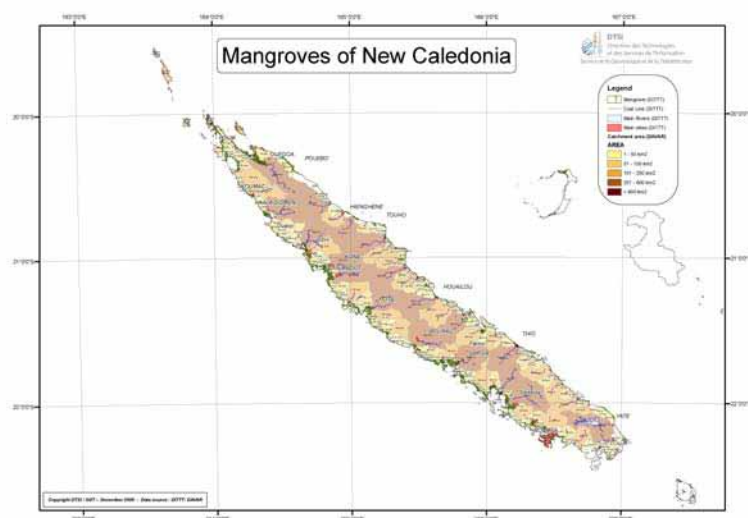


Figure 5. Catchments of major estuarine outflows for New Caledonia. Darker shading represents larger estuarine systems.

The relationship between catchments size and biodiversity is shown in Figure 6. After noting that catchment area has been log transformed, the trend is linear where mangrove species numbers are significantly greater in estuaries with larger catchments. It is of interest that rainfall has little influence of this strong relationship.

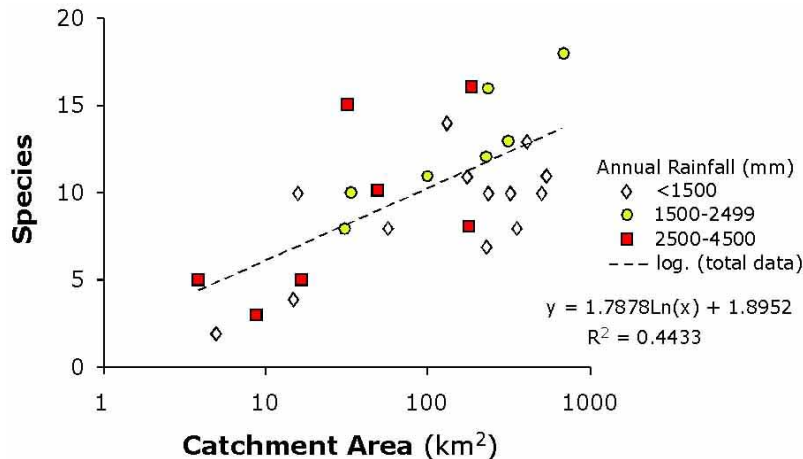


Figure 6. Mangrove biodiversity and catchment area grouped by mean annual rainfall for estuarine locations in New Caledonia. ($r=0.6456$; $n=28$; $P<0.001$).

Mangrove Distributions Within Estuaries – Salinity and Estuarine Position

The distribution of mangroves within estuaries is largely a function of species present, and how these are sorted according to individual tolerances to the salinity of channel waters. During Nov-Dec 2006, 10 estuarine locations were surveyed (see Fig. 1), noting species present at a number of sites from the mouth to as close to the upstream limit as practical.

Based on these surveys, New Caledonian mangrove taxa have been classified into three estuarine sub-groupings using upriver checklists for each river estuary (respectively, with the number of sites surveyed given in brackets), including: Dumbea (9), Tontouta South (9), La Foa (6), Le Cap (5), Temala (5), Voh (8), Iouanga (10), Koumac (8), Diahot (34) and Canala (12). These estuary groupings include: 1) downstream and marine influenced, (2) intermediate within the body of the estuary, and (3) upstream where species rely more heavily on riverine flows. Numbers of sites for respective species have been listed in brackets. **Downstream species:** *Pemphis acidula* (1); *Ceriops tagal* (1); *Rhizophora stylosa* (10); *Sonneratia alba* (3); *Avicennia marina* (10); *Lumnitzera racemosa* (7); *Excoecaria agallocha* (10). **Intermediate upriver species:** *Rhizophora samoensis* (10); *R. X selala* (10); *R. apiculata* (2); *Bruguiera gymnorrhiza* (10); *Heritiera littoralis* (6); *Scyphiphora hydrophyllacea* (3); *R. X lamarckii* (2); *R. X neocaledonica* (1); *Lumnitzera littorea* (5); *L. X rosea* (2); *Xylocarpus granatum* (6); *Acrostichum speciosum* (7). **Upstream species:** *Dolichandrone spathacea* (1); *Acanthus ilicifolius* (9); *Acrostichum aureum* (2); *Cynometra iripa* (0* reference to Australian occurrence in Duke 2006); *Sonneratia caseolaris* (0* reference to Australian occurrence in Duke 2006).

Upriver checklists were plotted using the GPS position within each estuary and the linear distance along each water course estimated from maps in conjunction with aerial imagery from Google Earth. Mangrove species were ranked according to species presence along the estuary with those listed first being found most often towards the estuary mouth. Salinity data are presented in the plots.

Dumbea River (Figure 7). The Dumbea River is situated in the south-western part of the main island of New Caledonia around 22° 10.5' S, 166° 26.0' E. The climate is moderate with a mean annual rainfall of around 1,600 mm. The estuary is influenced by a catchment area of around 231 km². The total number of mangrove species found in this river estuary was 12.

UpRiver - Dumbea

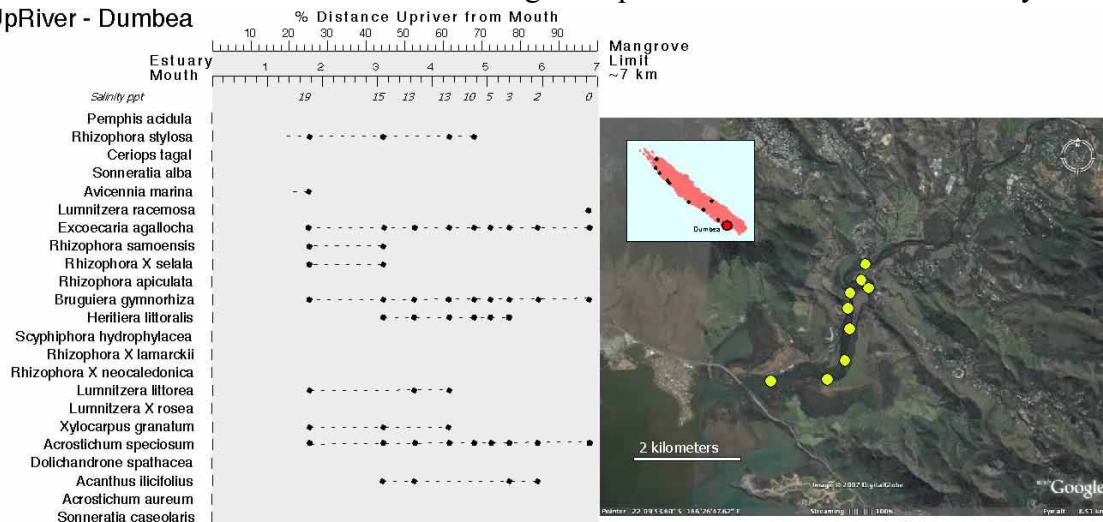


Figure 7. Upriver distribution of mangroves in the Dumbea River, New Caledonia.

River south of the Tontouta (Figure 8). The river estuary south of the Tontouta River is situated in the south-western part of the main island of New Caledonia around 22° 1.9' S, 166° 9.8' E. The climate is moderate to semi-arid with a mean annual rainfall of around 1,100 mm. The estuary is influenced by a catchment area of around 132 km². The total number of mangrove species found in this river estuary was 14.

UpRiver - airport creek

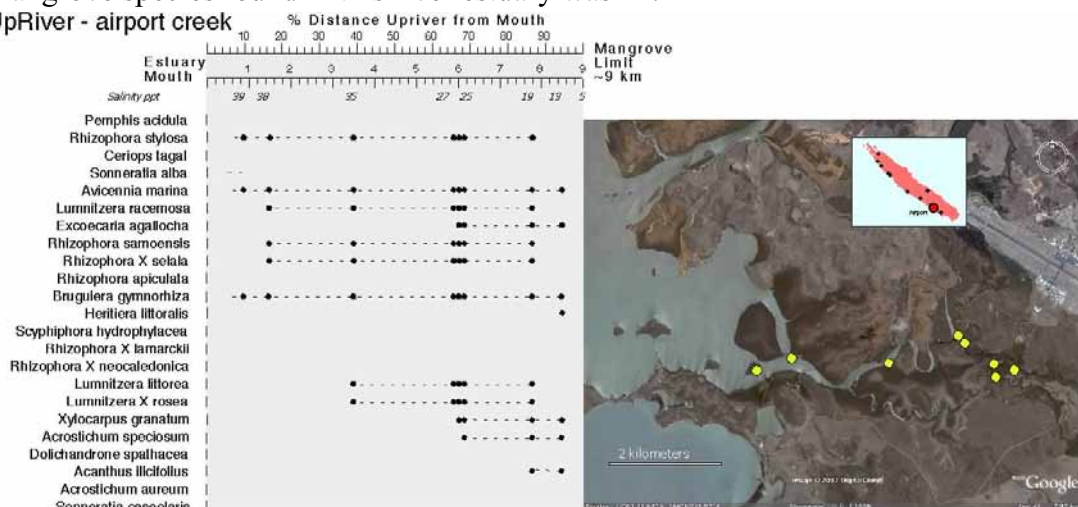


Figure 8. Upriver distribution of mangroves in the creek south of Tontouta and the airport, New Caledonia.

La Foa River (Figure 9). The La Foa River is situated in the western part of the main island of New Caledonia around 21° 44.2' S, 165° 43.6' E. The climate is moderate with a mean annual rainfall of around 1,350 mm. The estuary is influenced by a catchment area of around 406 km². The total number of mangrove species found in this river estuary was 13.

UpRiver - La Foa

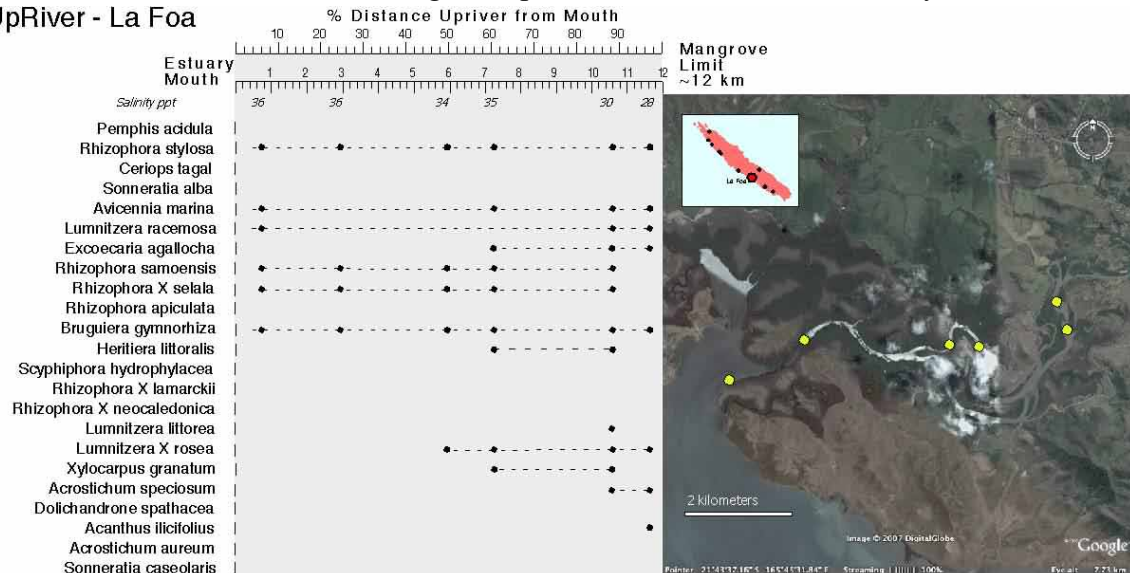


Figure 9. Upriver distribution of mangroves in the La Foa River, New Caledonia.

La Cap River (Figure 10). The La Cap River is situated in the western part of the main island of New Caledonia around 21° 31.4' S, 165° 28.9' E. The climate is moderate to semi-arid with a mean annual rainfall of around 1,200 mm. The estuary is influenced by a catchment area of around 176 km². The total number of mangrove species found in this river estuary was 11.

UpRiver - Le Cap

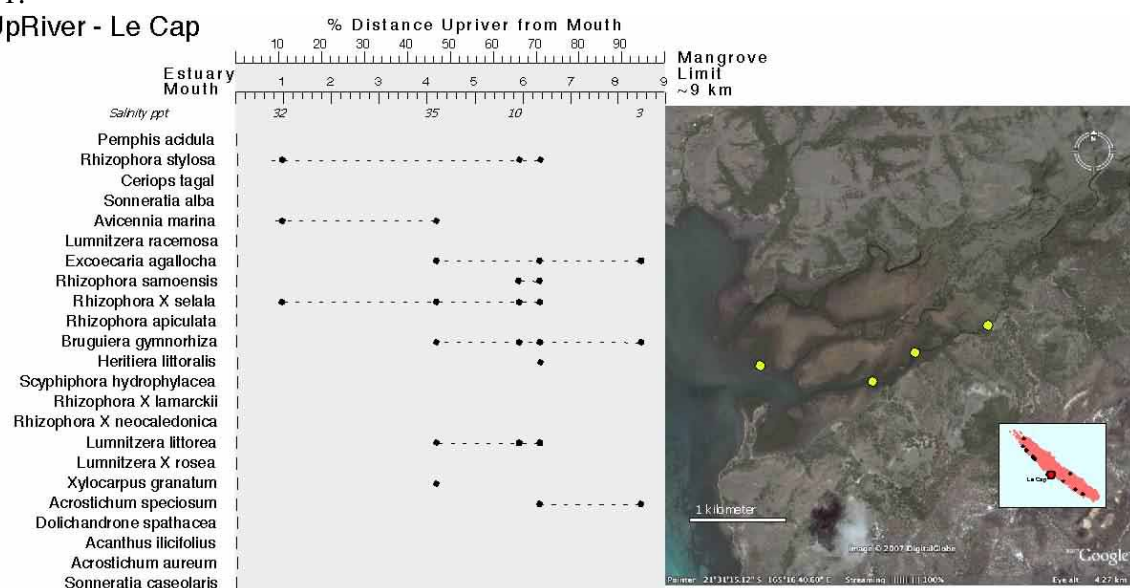


Figure 10. Upriver distribution of mangroves in the Le Cap River, New Caledonia.

Voh River (Figure 11). The Voh River is situated in the north-western part of the main island of New Caledonia around 20° 59.9' S, 164° 41.9' E. The climate is moderate with a mean annual rainfall of around 1,300 mm. The estuary is influenced by a catchment area of around 231 km². The total number of mangrove species found in this river estuary was 7.

UpRiver - Voh

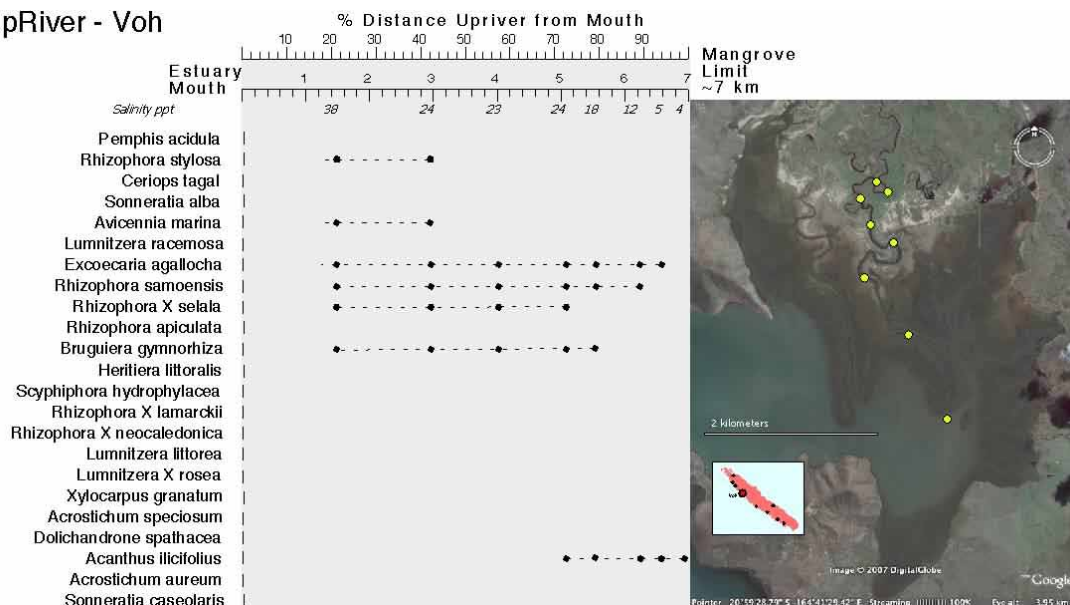


Figure 11. Upriver distribution of mangroves in the Voh River, New Caledonia.

Temala River (Figure 12). The Temala River is situated in the north-western part of the main island of New Caledonia around 20° 56.0' S, 164° 39.2' E. The climate is moderate with a mean annual rainfall of around 1,350 mm. The estuary is influenced by a catchment area of around 356 km². The total number of mangrove species found in this river estuary was 8.

UpRiver - Temala

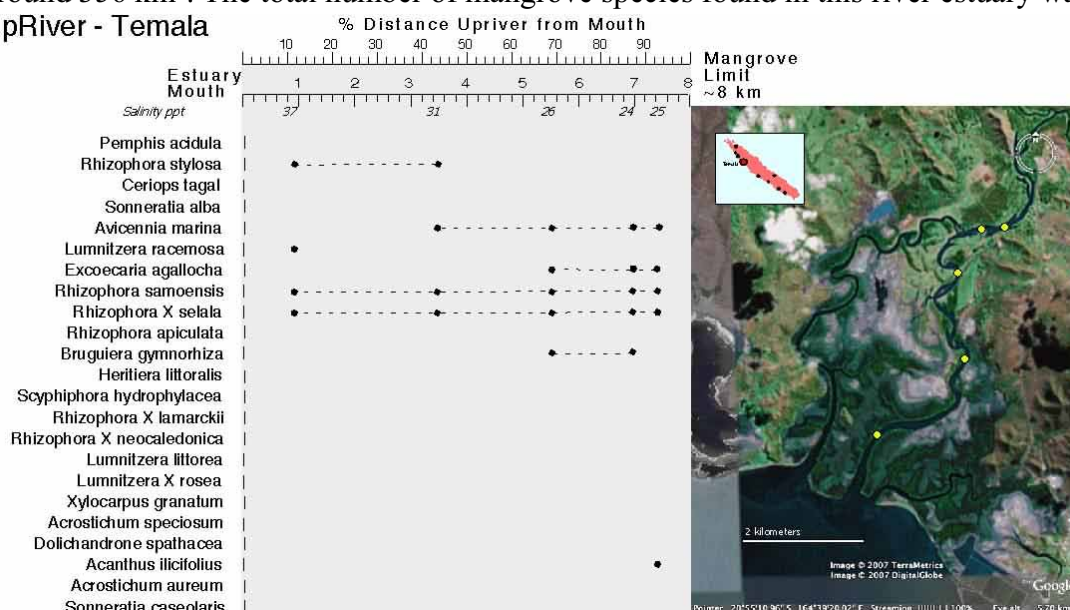


Figure 12. Upriver distribution of mangroves in the Temala River, New Caledonia.

Iouanga River (Figure 13). The Iouanga River is situated in the north-western part of the main island of New Caledonia around 20° 42.4' S, 164° 22.6' E. The climate is semi-arid with a mean annual rainfall of around 1,250 mm. The estuary is influenced by a catchment area of around 506 km². The total number of mangrove species found in this river estuary was 10.

UpRiver - Iouanga

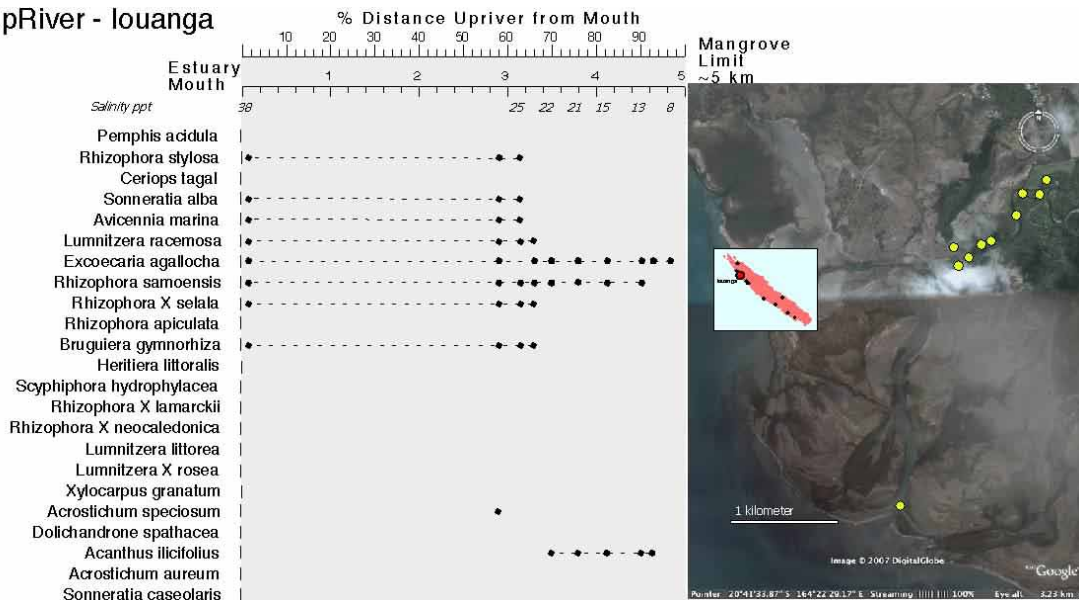


Figure 13. Upriver distribution of mangroves in the Iouanga River, New Caledonia.

Koumac River (Figure 14). The Koumac River is situated in the north-western part of the main island of New Caledonia around 20° 33.9' S, 164° 15.6' E. The climate is semi-arid with a mean annual rainfall of around 1,200 mm. The estuary is influenced by a catchment area of around 237 km². The total number of mangrove species found in this river estuary was 10.

UpRiver - Koumac

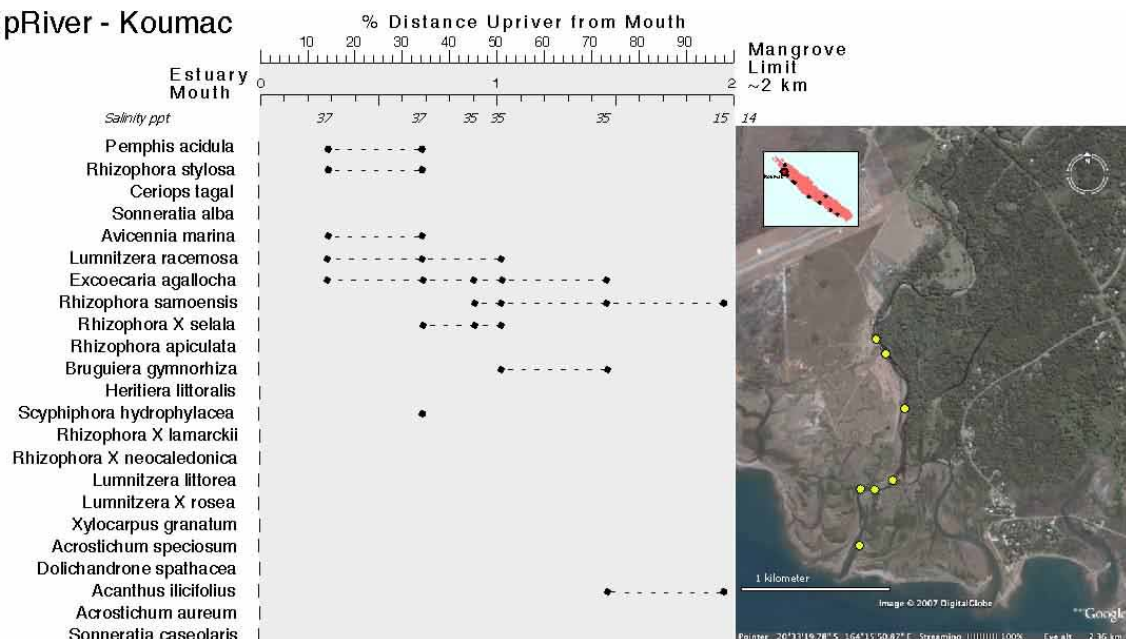


Figure 14. Upriver distribution of mangroves in the Koumac River, New Caledonia.

Diahot River (Figure 15). The Diahot River is situated at the northern tip of the main island of New Caledonia around 20° 16.4' S, 164° 17.9' E. The climate is moderate with a mean annual rainfall of around 1,500 mm. The estuary is influenced by a catchment area of around 689 km². The total number of mangrove species found in this river estuary was 18.

UpRiver - Diahot

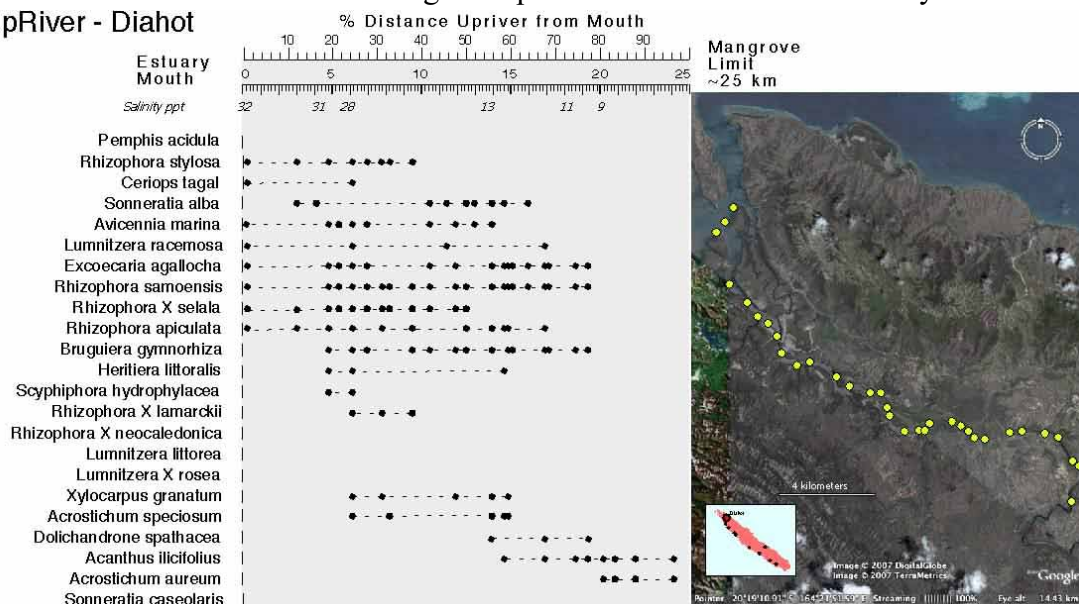


Figure 15. Upriver distribution of mangroves in the Diahot River, New Caledonia.

Canala River (Figure 16). The Canala River is situated on the southern, central east coast of the main island of New Caledonia around 21° 30.7' S, 165° 58.8' E. The climate is wet to moderate with a mean annual rainfall of around 1,850 mm. The estuary is influenced by a catchment area of around 239 km². The total number of mangrove species found in this river estuary was 16.

UpRiver - Canala

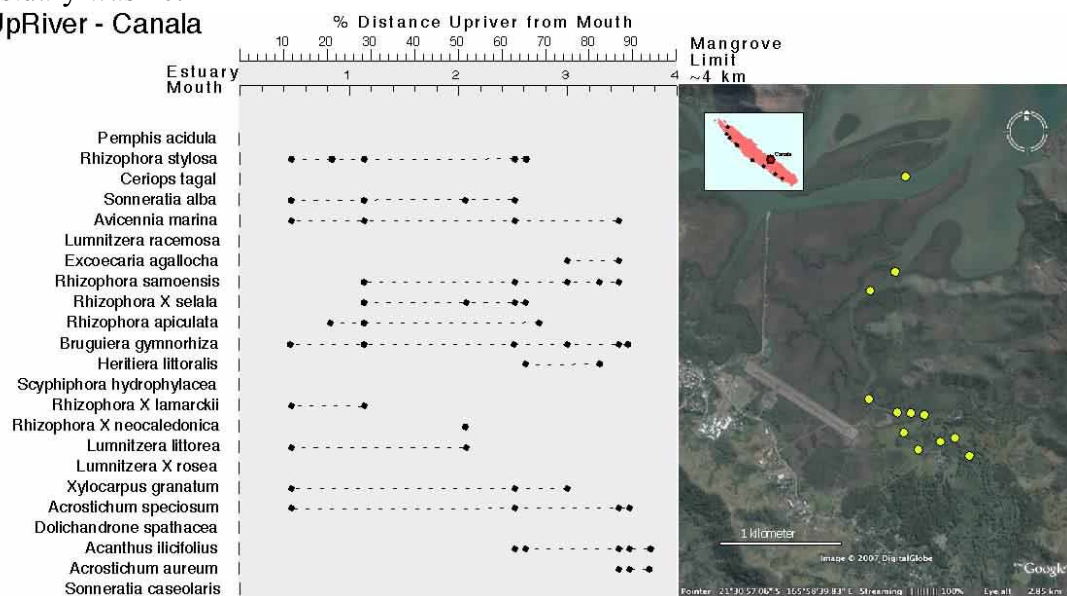


Figure 16. Upriver distribution of mangroves in the Canala River, New Caledonia.

Descriptive Notes

Key to the 24 mangrove taxa of New Caledonia

1. Ground fern **Genus Acrostichum** (2 species)
- 1*. Shrub/tree 2
2. White, milky sap oozes from broken leaf or cut bark.....**Excoecaria agallocha** L.
- 2*. No exuding white sap 3
3. Compound leaves 4
- 3*. Simple leaves..... 6
4. Large flowers (>10 cm) and long terete curved seed pods
.....**Dolichandrone spathacea** (L.f.) K.Schum.
- 4*. Small flowers (<1 cm) and compact rounded seed pod..... 5
5. Bivalve seed pod, deeply rugose and pubescent surface, no pneumatophores or buttresses**Cynometra iripa** Ko
- 5*. Obscurely 4-valved seed pod, coriaceous, globose and often with plank buttresses
.....**Xylocarpus granatum** J.Koenig.
6. Opposite leaves..... 7
- 6*. Alternate leaves 14
7. Leaves densely pubescent under, giving silvery appearance
.....**Avicennia marina** (Forssk.) Vierh. **var. australasica** (Walp.) Moldenke ex N.C.Duke
- 7*. Leaves not densely pubescent under 8
8. Leaves with spiny margins and flowers distinctly zygomorphic on a small shrub rarely exceeding 2 m tall.....**Acanthus ilicifolius** L.
- 8*. Leaves never spiny, flowers never just zygomorphic on a shrub or tree..... 9
9. Propagules long (>6 cm), green and conspicuous attached to viviparous fruit, and shrub or tree has buttresses or prop roots 10
- 9* Propagules are fruits, rounded (<6 cm in diameter) not always green, not viviparous, and shrub or tree has no buttresses or prop roots 12
10. Fruit, inverted pear-shaped with a mostly flat-expanded calyx tube and always <6 calyx sepals (lobes) 11
- 10*. Fruit obscure within distinctly turbinate calyx tube which has 8-15 sepals
..... **Bruguiera gymnorhiza** (L.) Savigny ex Lam. & Poiret
11. Mostly 5 calyx sepals, thick sinuous buttresses **Ceriops tagal** (Perr.) C.B.Rob.
- 11*. Mostly 4 calyx sepals, sturdy prop roots **Genus Rhizophora** (6 species)

12. Stipules persistent, fruit small cylindrical, distinctly 8 ribbed seed pod
 **Scyphiphora hydrophylacea** C.F.Gaertn.
- 12*. Stipules absent, fruits not ribbed 13
13. Medium to large tree with large (>5 cm long) leaves, pencil-like to trunk-like pneumatophores which taper to a narrowly blunt point, fruits globular large (>3 cm diameter) **Genus Sonneratia** (2 species)
- 13*. Shrub to small tree with small (<2 cm long) leaves, no pneumatophores, fruits not globular, small (<1 cm diameter).....**Pemphis acidula** J.R.Forst. & G.Forst.
14. Leaves with either dense pubescent hairs or fine scales chiefly on lower surfaces giving a silvery appearance **Heritiera littoralis** Aiton
- 14*. Leaves glabrous **Genus Lumnitzera** (3 species)

Genus Keys

Acrostichum

1. Large fronds, pinnae blunt, trunk **Acrostichum aureum** L.
- 1*. Smaller fronds, pinnae pointed, trunkless.....**Acrostichum speciosum** Willd.

Lumnitzera

1. Inflorescence axillary, style central, petals white, stamens equal or slightly exceeding petals, shrub or small tree to 8 m **Lumnitzera racemosa** Willd.
- 1.* Inflorescence terminal, style off-centre 2
2. Petals pink, stamens equal or slightly exceeding petals
 **Lumnitzera X rosea** (Gaudich.) C.Presl ex Tomlinson, Bunt, Primack & Duke
- 2.* Petals red, stamens twice as long as petals **Lumnitzera littorea** (Jack) Voigt

Rhizophora

1. Leaf mucronate tip prominent, erect spike, buds rounded, inflorescence always bifurcate 2
1. Leaf mucronate tip not erect spike, buds often 4-sided, inflorescences both bifurcate and trifurcate
 4
2. Mature flower buds and fruit below leaves in leafy shoot, bracts corky brown, petals with no marginal hairs, style L < 2 mm **Rhizophora apiculata** Bl.
2. Mature flower buds and fruit within leaves in leafy shoot, bracts smooth green, petals with marginal hairs, style L > 2 mm 3
3. Mature flower buds <15 mm L, petal margins very hairy, fully enclose stamens, calyx lobes <1 mm thick, mature fruits and hypocotyls often present **Rhizophora stylosa** Griff.
3. Mature flower buds >15 mm L, petal margins minutely hairy, not enclose stamens, calyx lobes >1 mm thick, mature fruits and hypocotyls rarely present

-*Rhizophora X lamarckii* Montrouz.
4. Leaf apex blunt, leaf mucronate tip a broad fold $L < W$, stamens 8, mature fruits and hypocotyls often present*Rhizophora samoensis* (Hochr.) Salvoza
4. Leaf apex acute, leaf mucronate tip folded $L = W$, stamens 8-18, mature fruits and hypocotyls never present 5
5. Leaf apex broadly acute, buds smooth, stamens 8, style > 2 mm L, minutely bifurcate, petal margins wooly, calyx lobes < 1 mm thick
-*Rhizophora X selala* Tomlinson & Womersley
5. Leaf apex sharply acute, buds with slight ribs at base of lobe sutures, stamens 11-18, style < 2 mm L, deeply bifurcate, petal margins minutely hairy, calyx lobes > 1 mm thick
-*Rhizophora X neocaledonica* N.C.Duke, hybrid sp. nov.

Sonneratia

1. Petals white if present; stamens white; Calyx smooth and shiny, fruit calyx cup-shaped, fruit diameter < 4 cm, less than or equal to hypanthium
-*Sonneratia alba* J.Sm. in A.Rees
- 1.* Petals red, stamens red or white; Calyx leathery, fruit calyx flat-expanded, fruit diameter > 4 cm, mostly 0.5 cm or more, greater than hypanthium
-*Sonneratia caseolaris* (L.) Engl.

Descriptions of Individual Species – plus specific distribution notes

Acanthus ilicifolius (Acanthaceae)

One species identified. The New Caledonian distribution of *Acanthus ilicifolius* is shown in Figure 17. The species was present in 18 out of the 35 locations surveyed. Distributed from Diahot River ($20^{\circ} 16' S$) in the north to Dumbéa River ($22^{\circ} 11' S$) in the south. Present on the east coast of Australia to Fitzroy River estuary ($23^{\circ} 31' S$). Extensive and common occurrences as dense low thickets bordering upstream water courses. Species notably present at the tidal limit of many arid coast estuaries in the west. Morphological characteristics appear normal (Duke 2006).

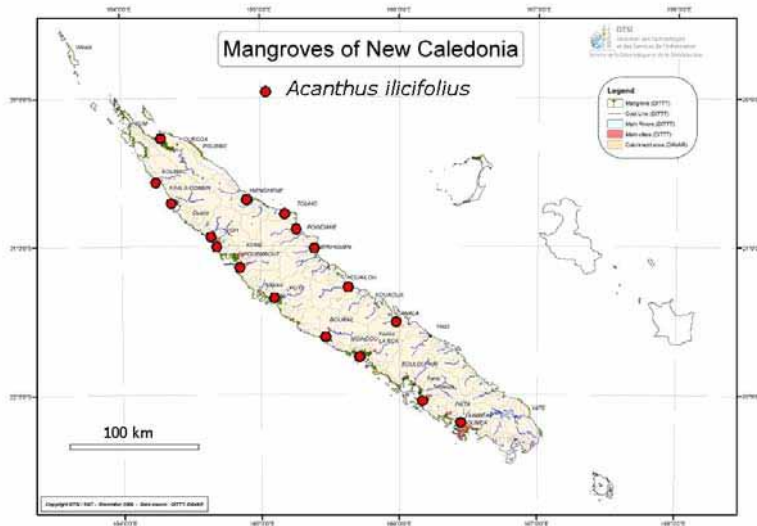


Figure 17. Distribution of *Acanthus ilicifolius* in New Caledonia.

Acrostichum spp. (Pteridaceae)

Two species identified. The New Caledonian distribution of *Acrostichum* species, *A. aureum* and *A. speciosum*, is shown in Figure 18. *Acrostichum aureum* was present in 2 out of the 35 locations surveyed. Distributed from Diahot River (20° 16' S) in the north to Canala River (21° 31' S) in the south. Recently observed on the east coast of Australia to Daintree River estuary (16° 17' S) (pers. observ.). *Acrostichum speciosum* present in 19 out of the 35 locations surveyed. Distributed from Diahot River (20° 16' S) in the north to Baie du Carénage (22° 20' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Clarence River estuary (29° 26' S) (Duke 2006). Notable distributional preference separated these taxa. *A. aureum* located exclusively in upstream reaches overlapping with *A. speciosum* which is found in great profusion downstream within mid estuarine reaches and bordering higher tidal margins often associated with some seasonal freshwater influence.

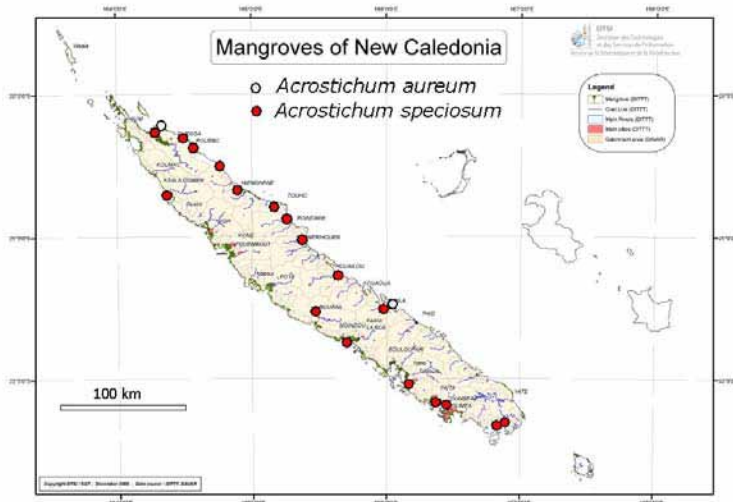


Figure 18. Distribution of *Acrostichum* species, *A. aureum* and *A. speciosum*, in New Caledonia.

***Avicennia marina* (Avicenniaceae)**

One species identified. The New Caledonian distribution of *Avicennia marina* is shown in Figure 19. *Avicennia marina* present in 28 out of the 35 locations surveyed. Distributed from Diahot River (20° 16' S) in the north to Corniche Sud (22° 18' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Corner Inlet (38° 45' S) (Duke 2006). One species, one variety, var. *australasica*. Notably the same variety which is found commonly in SE Australia and New Zealand. Contrasts with other mangrove species with traits showing Asian affinities, like *S. caseolaris* and *S. alba*. Plants observed as either taller trees or dense shrubbery and thickets. The latter form extensive areas across more arid areas bordering salt pans and salt marsh. In some locations, the species is heavily grazed, cropped and trampled by livestock, notably deer and cattle. In areas around Le Cap River estuary, significant *A. marina* stands have been killed by heavy grazing by deer.



Figure 19. Distribution of *Avicennia marina* in New Caledonia.

***Bruguiera gymnorhiza* (Rhizophoraceae)**

One species identified. The New Caledonian distribution of *Bruguiera gymnorhiza* is shown in Figure 20. The species was present in 30 out of the 35 locations surveyed. Distributed from Diahot River (20° 16' S) in the north to Baie du Carénage (22° 20' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Moonee Creek estuary (30° 13' S) (Duke 2006). Two variants readily apparent – one with reddish coloration to foliage making it appear dark, compared with other individuals having only normal green pigment. The proportion of trees in this respective condition characterised some estuaries. Southern estuaries notably included greater numbers of 'red' trees. A comparable pigment character was notable in other locations, but there are no obvious connections between them – noting Fraser Island (NE Australia) and Yap Islands (Western Federated States of Micronesia). No corresponding other morphological characters were observed in 'red' and 'green' individuals.

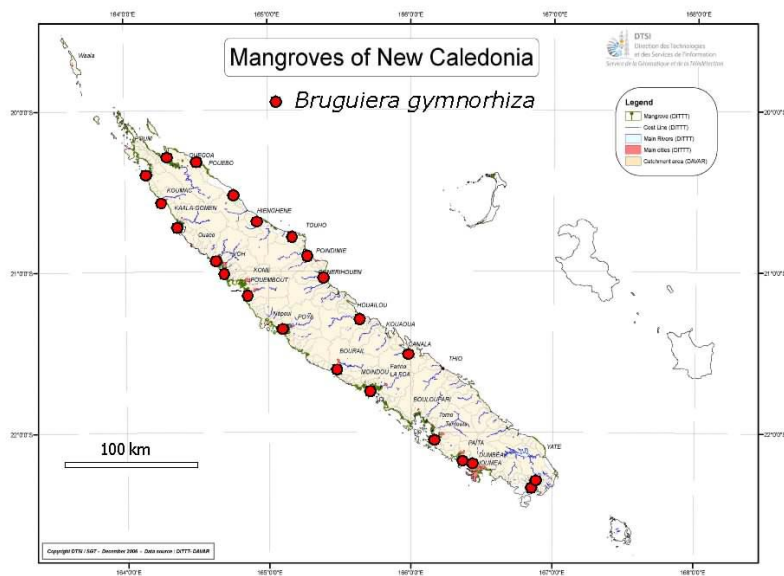


Figure 20. Distribution of *Bruguiera gymnorhiza* in New Caledonia.

Ceriops tagal (Rhizophoraceae)

One species identified. The New Caledonian distribution of *Ceriops tagal* is shown in Figure 21. The species was present in one out of the 35 locations surveyed. Distributed only in the Diahot River (20° 16' S) in the north. Present on the east coast of Australia to Sarina Inlet estuary (21° 24' S) (Duke 2006). Confirmed as the *Ceriops* taxon having ribbed and long hypocotyls – as distinct from *C. australis*. No shorter versions observed signifying the singular occurrence of this taxon in New Caledonia. This is notable because at similar latitudes in Australia there is an increasing dominance of the shorter smoother *C. australis*. This identifies another component of an Asian mangrove flora connection.



Figure 21. Distribution of *Ceriops tagal* in New Caledonia.

***Cynometra iripa* (Caesalpiniaceae)**

Not located during field survey. Evidence for presence taken from Munzinger and Lebigre 2005. The collection site in New Caledonian of *Cynometra iripa* is shown in Figure 22. Reported only for the Tiwaka River (20° 52' S) on the east coast. Present on the east coast of Australia to Pioneer River estuary (21° 09' S) (Duke 2006).

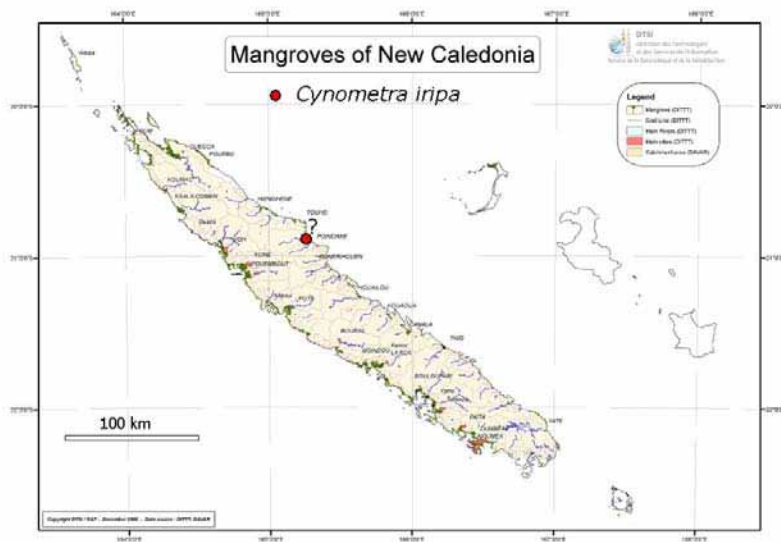


Figure 22. Distribution of *Cynometra iripa* (Herbarium record only, not sighted during survey) in New Caledonia.

***Dolichandrone spathacea* (Bignoniaceae)**

One species identified. The New Caledonian distribution of *Dolichandrone spathacea* is shown in Figure 23. *Dolichandrone spathacea* present in 2 out of the 35 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to the Tchamba River (21° 01' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Olive River estuary (12° 10' S) (Duke 2006). Notably present in relatively high latitude sites compared with Australia, making New Caledonia the southern most limit of this species. The species was found in upstream reaches and particularly along accreting banks of the main channel.

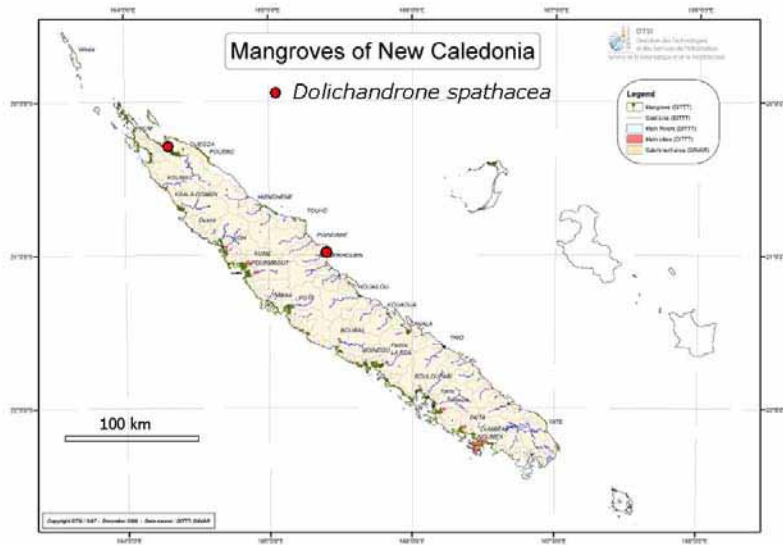


Figure 23. Distribution of *Dolichandrone spathacea* in New Caledonia.

Excoecaria agallocha (Euphorbiaceae)

One species identified, but two normal forms noted as separate male and female trees. The New Caledonian distribution of *Excoecaria agallocha* is shown in Figure 24. *Excoecaria agallocha* was present in 29 out of the 35 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Baie du Carénage (22° 20' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Manning River estuary (31° 53' S) (Duke 2006). In New Caledonia, this species is widespread and common. No special morphological characters were observed.



Figure 24. Distribution of *Excoecaria agallocha* in New Caledonia.

***Heritiera littoralis* (Sterculiaceae)**

One species identified. The New Caledonian distribution of *Heritiera littoralis* is shown in Figure 25. The species was present in 14 out of the 35 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Corniche Sud (22° 18' S) in the south. Present on the east coast of Australia to St Lawrence estuary (22° 15' S) (Duke 2006). Extensive and common occurrences. No special morphological characters noted.

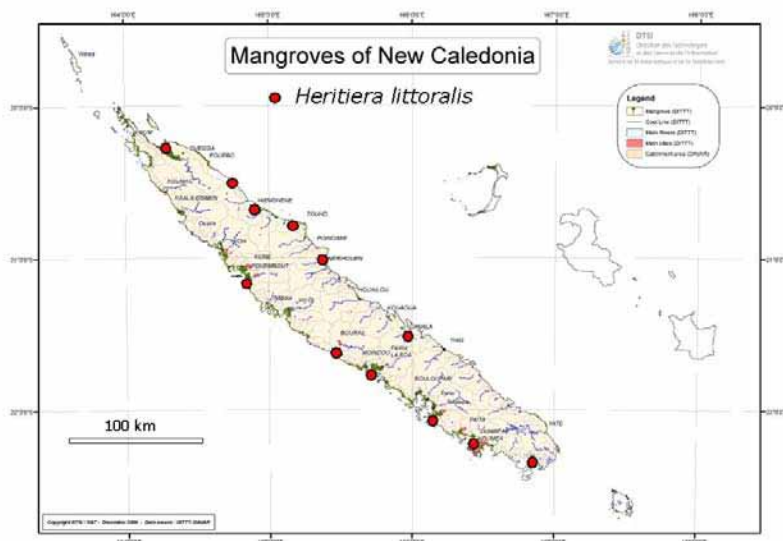


Figure 25. Distribution of *Heritiera littoralis* in New Caledonia.

***Lumnitzera* spp. (Combretaceae)**

Two species and one hybrid identified. The New Caledonian distribution of *Lumnitzera* species, *L. littorea*, *L. racemosa* and hybrid *L. X rosea* is shown in Figure 26. *Lumnitzera littorea* was present in 12 out of the 35 locations surveyed. Distributed from Balade (20° 18' S) in the north to Baie du Carénage (22° 20' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Herbert River estuary (18° 31' S) (Duke 2006). The New Caledonian record sets the southern latitudinal limit of the species. *Lumnitzera racemosa* was present in 16 out of the 35 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Corniche Sud (22° 18' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Southern Moreton Bay (27° 04' S) (Duke 2006). *Lumnitzera X rosea* was present in 3 out of the 35 locations surveyed. Distributed from Sud Néhoulé (20° 24' S) in the north to near Tontouta (22° 02' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Missionary Bay (18° 16' S) (Duke 2006). The New Caledonian records represent the most numerous observations of this taxon anywhere. There were notable occurrences of hybrid stands when both parent species were located in close proximity. There were notable differences in tree morphology, with hybrids forming open thickets while *L. littorea* occurred as small trees and dense thickets with darker foliage, and *L. racemosa* were present as low density canopy small trees with lighter green foliage. No fruits were observed on hybrid trees and shrubs.

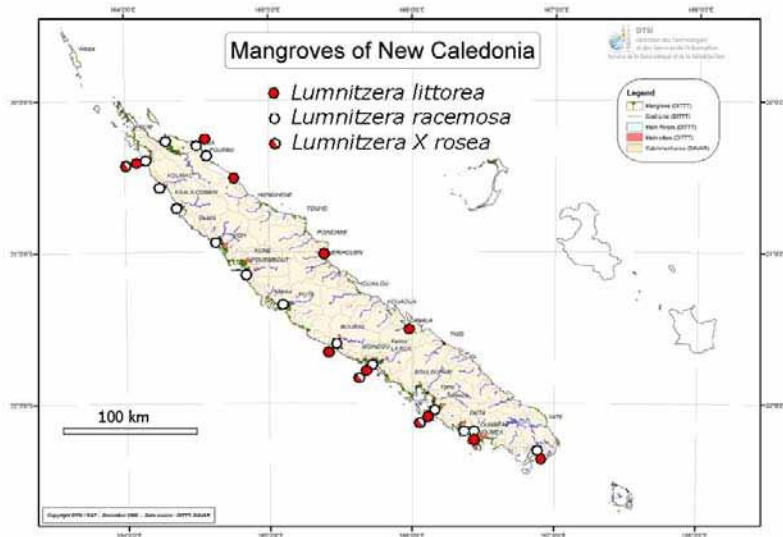


Figure 26. Distribution of *Lumnitzera* species, *L. littorea*, *L. racemosa* and hybrid *L. X rosea*, in New Caledonia.

Pemphis acidula (Lythraceae)

One species identified. The New Caledonian distribution of *Pemphis acidula* is shown in Figure 27. The species was present in one out of the 35 locations surveyed. Distributed only on the west coast at Koumac (Ouanac – Koumac) River (20° 34' S) mouth. Present on the east coast of Australia to Bustard Head (24° 01' S) (Duke 2006). There are expected to be greater occurrences in shoreline stands. These areas were not included in the current survey. Notable presence in dry north western site. No unusual morphological characteristics observed.

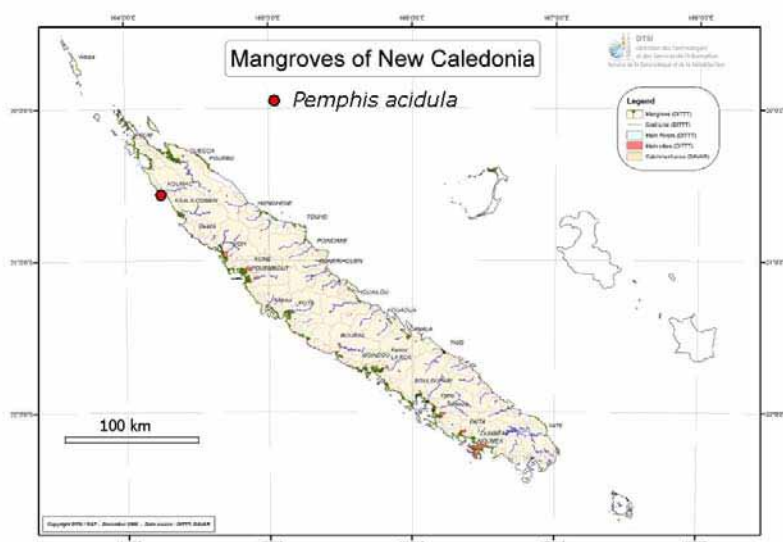


Figure 27. Distribution of *Pemphis acidula* in New Caledonia.

Rhizophora spp. (Rhizophoraceae)

Three species and three hybrids identified. The New Caledonian distribution of six *Rhizophora* taxa shown in Figure 28, 29, 30. Taxa include: *Rhizophora apiculata*, *R. X lamarckii*, *R. X neocaledonica* (newly described), *R. samoensis*, *R. X selala* and *R. stylosa*. *Rhizophora apiculata* present in 10 out of the 36 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Canala River (21° 31' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Port Clinton (22° 35' S) (Duke 2006). *Rhizophora X lamarckii* present in 6 out of the 36 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Canala River (21° 31' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Port Clinton (22° 35' S) (Duke 2006). *Rhizophora X neocaledonica* present in 4 out of the 36 locations surveyed. Distributed from Tanghène River (20° 41' S) in the north to Canala River (21° 31' S) in the south. Not present on the east coast of Australia. *Rhizophora samoensis* present in 28 out of the 36 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Corniche Sud (22° 18' S) in the south. Not present on the east coast of Australia. *Rhizophora X selala* present in 21 out of the 36 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Corniche Sud (22° 18' S) in the south. Not present on the east coast of Australia. *Rhizophora stylosa* present in 26 out of the 36 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Baie du Carénage (22° 20' S) in the south. Present on the east coast of Australia to South West Rocks (30° 53' S) (Duke 2006). It is abundantly clear that *Rhizophora* species thrive in New Caledonia. In every estuary, *Rhizophora* thickets dominate the shoreline and extend in dense stands. Their range upstream is extensive also often reaching the uppermost tidal reaches in every case. There is also clear separation of taxa along tidal and estuarine gradients. *Rhizophora stylosa* are located downstream mostly as frontal thickets.

Rhizophora samoensis (comparable to *R. mangle* from the Atlantic East Pacific region) was often observed as dense low thickets along accreting banks of upstream estuarine reaches.

Rhizophora apiculata was usually found along middle reaches of larger estuaries with greater freshwater influence. The three hybrids appear distributed in between and overlapping with parental forms. All taxa occurred in upper tidal levels. The most common hybrid was *R. X selala*, followed by *R. X lamarckii* and lastly, *R. X neocaledonica*. The newly identified hybrid was relatively rare, notably restricted firstly to occurrences of both parent species, and then to midstream estuarine reaches of larger freshwater influenced estuaries.

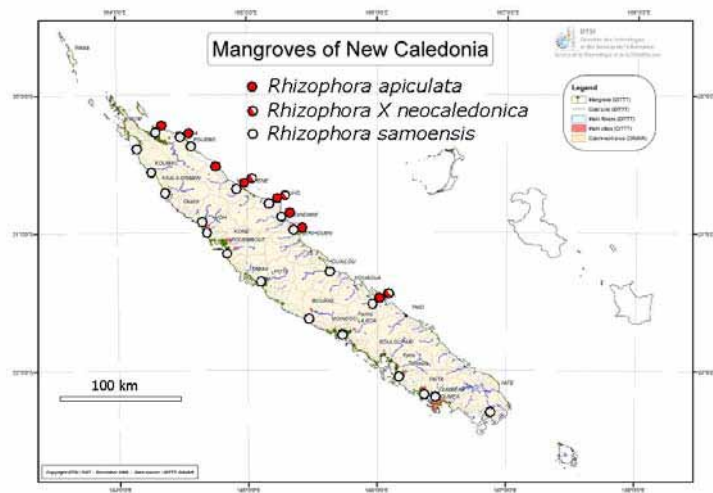


Figure 28. Distribution of *Rhizophora* species, *R. apiculata*, *R. samoensis* and hybrid *R. X neocaledonica* (newly described), in New Caledonia.

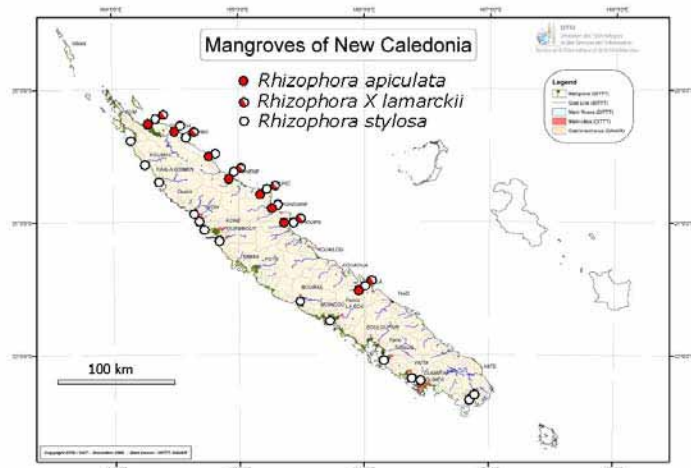


Figure 29. Distribution of *Rhizophora* species, *R. apiculata*, *R. stylosa* and hybrid *R. X lamarckii*, in New Caledonia.

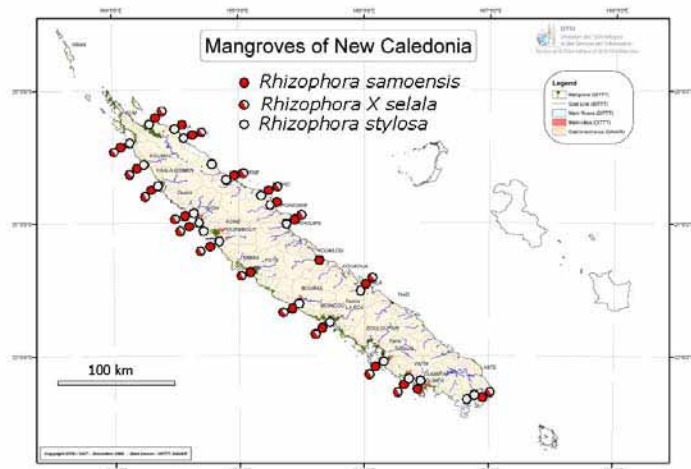


Figure 30. Distribution of *Rhizophora* species, *R. samoensis*, *R. stylosa* and hybrid *R. X selala*, in New Caledonia.

Scyphiphora hydrophylacea (Rubiaceae)

One species identified. The New Caledonian distribution of *Scyphiphora hydrophylacea* is shown in Figure 31. The species was present in 5 out of the 36 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Canala River (21° 31' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Bustard Heads (24° 01' S) (Duke 2006). The occurrence of this species was rare, but numerous when present. No special morphological characters were observed.

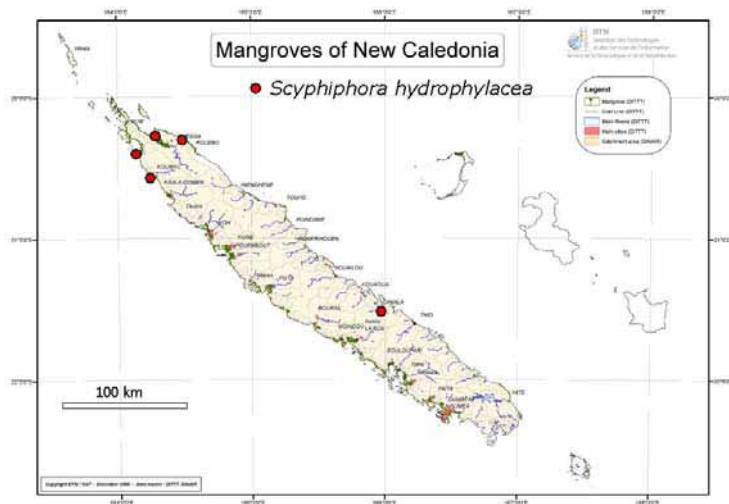


Figure 31. Distribution of *Scyphiphora hydrophylacea* in New Caledonia.

Sonneratia spp. (Sonneratiaceae)

Two species identified. The New Caledonian distribution of *Sonneratia* species, *S. alba* and *S. caseolaris*, is shown in Figure 32. *Sonneratia alba* was present in 14 out of the 35 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Corniche Sud (22° 18' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Port Clinton (22° 35' S) (Duke 2006). *Sonneratia caseolaris* was present in 5 out of the 36 locations surveyed. Distributed from the Tiwae River (20° 47' S) in the north to Tchamba River (21° 01' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Murray River (18° 05' S) (Duke 2006). There were notable difference in abundances of two species. *Sonneratia alba* was more widespread and *S. caseolaris* was restricted to estuaries with abundant freshwater influence. There was a clear overlap in the two species in such locations so it is possible there may be hybrid individuals (*S. X gulngai*) based on evidence from Australia (Duke 2006). No hybrid was observed during the survey, despite targeted searching.

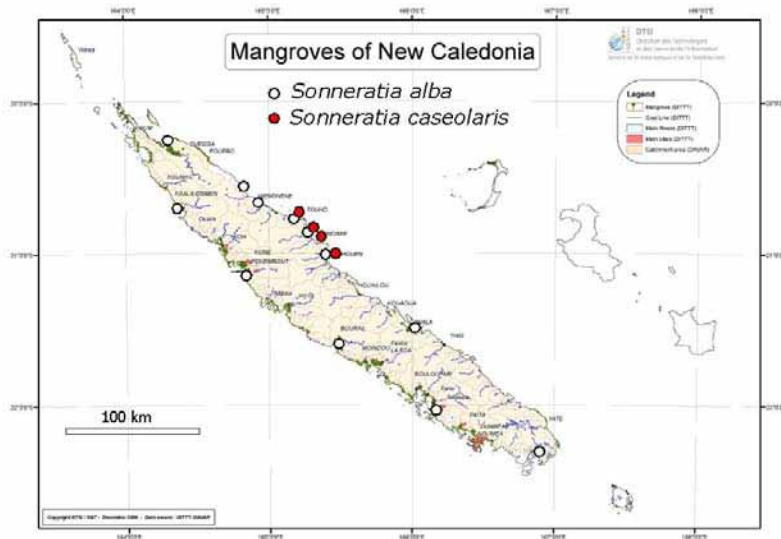


Figure 32. Distribution of *Sonneratia* species, *S. alba* and *S. caseolaris*, in New Caledonia.

Xylocarpus granatum (Meliaceae)

One species identified. The New Caledonian distribution of *Xylocarpus granatum* is shown in Figure 33. *Xylocarpus granatum* present in 17 out of the 36 locations surveyed. Distributed from the Diahot River (20° 16' S) in the north to Corniche Sud (22° 18' S) in the south. Present on the east coast of Australia to Fraser Island (25° 26' S) (Duke 2006). The presence of this species was extensive and common. No special morphological characters were noted.

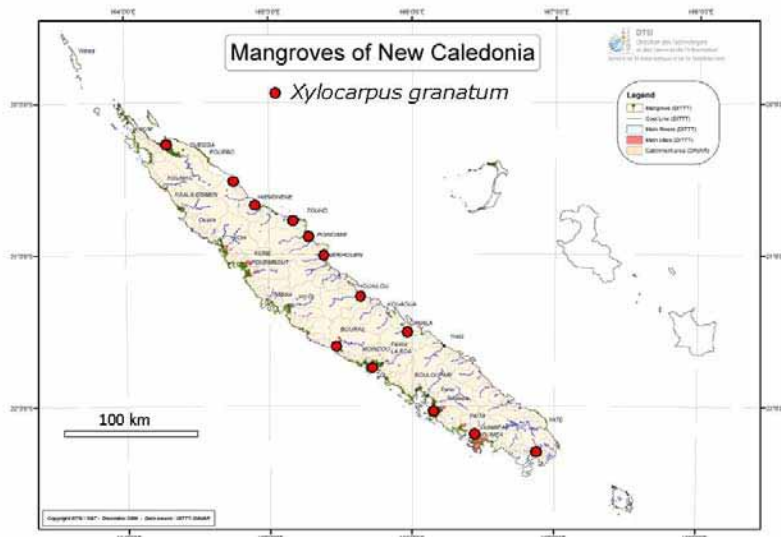


Figure 33. Distribution of *Xylocarpus granatum* in New Caledonia.

References

- Duke, N.C. 1992. Mangrove Floristics and Biogeography, pp. 63-100. In A.I. Robertson and D.M. Alongi, (eds.), *Tropical Mangrove Ecosystems*, Coastal and Estuarine Studies Series, American Geophysical Union, Washington, D.C., 329 pp.
- Duke, N. C. 2006. *Australia's mangroves. The authoritative guide to Australia's mangrove plants*. The University of Queensland and Norman C Duke, Brisbane. 200 pages.
- Duke, N.C., and A.J. Watkinson. 2002. Genetic abnormalities in *Avicennia marina* and longer term deterioration of mangroves growing in oil polluted sediments. *Marine Pollution Bulletin* 44: 1269-1276.
- Duke, N.C., M.C. Ball and J.C. Ellison 1998. Factors influencing biodiversity and distributional gradients in mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*, Mangrove Special Issue 7: 27-47.
- Ellison, J. C. 1995. Systematics and distributions of Pacific Island mangroves. Pages 59-74 in J. E. Maragos, M. N. A. Peterson, L. G. Eldredge, J. E. Bardach, and H. F. Takeuchi, eds. *Marine and coastal biodiversity in the tropical island Pacific region. Volume 1. Species systematics and information management priorities*. East-West Center, Pacific Forum, Pacific Science Association, Honolulu. 59-74.
- Forster, J. G. A. 1786. *De plantis esculentis Insularum Oceani Australis commentatio botanica*. Pages 80. Haude & Spener, Berlin. 80.
- Jaffre, T., P. Morat, F. Rigault, J.-M. Veillon, and G. Dagostini. 2001. Composition et caracteristiques de la flore indigene de la Nouvelle-Caledonie. IRD, Noumea.
- Lowry II, P. P. 1998. Diversity, endemism and extinction in the flora of New Caledonia: a review. Pages 181-206 in C.-I. Peng and P. P. Lowry II, eds. *Rare, Threatened and Endangered Floras of the Pacific Rim*. Institute of Botany, Taipei.
- Lowry II, P. P., J. Munzinger, P. Bouchet, H. Geraux, A. Bauer, O. Langrand, and R. A. Mittermeier. 2004. New Caledonia. Pages 193-197 in R. A. Mittermeier, P. Robles Gil, M. Hoffmann, J. Pilgrim, T. Brooks, C. G. Mittermeier, J. L. Lamoreux, and G. A. B. da Fonseca, eds. *Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Threatened Terrestrial Ecoregions*. CEMEX, Mexico City. 193-197.
- Munzinger, J., and J.-M. Lebigre. 2005. The flora of the neo-caledonian mangrove swamps. Pages 61-65.
- Saenger, P., M. M. Specht, R. L. Specht, and V. J. Chapman. 1977. Mangal and coastal salt-marsh communities in Australasia. Pages 293-345 in V. J. Chapman, ed. *Wet Coastal Ecosystems*. Elsevier Scientific Publications, Amsterdam, New York. 293-345.
- Schmid, M. 1981. *Fleurs et plantes de la Nouvelle-Caledonie*. Ed. du Pacifique, Papeete. 164 pages.
- Tomlinson, P.B., J.S. Bunt, R.B. Primack and N.C. Duke 1978. *Lumnitzera X rosea* (Combretaceae) - its status and floral morphology. *J. Arnold Arboretum* 59: 342-351.

Appendices

1. Locations of 131 mangrove survey sites.
2. Mangrove species checklists.
3. Mangrove pictures

Appendix 1. Locations of 131 mangrove survey sites in New Caledonia during 21 November to 8 December 2006. Comprehensive species checklists were made at all sites, and locations marked 'Upriver' included a number of sites distributed along respective estuaries from the mouth to the upstream tidal limit (as far as practical). Rainfall measured as mean annual rainfall (mm), and catchment area (km²).

#	SV#	Location/Site	WP	Lati S	Longi E	Coast	Survey	Sites	Spp.	Rainfall	Catchm		
1	1	Baie du Carénage	221	22	19.6	166	49.5	South	Site	1	5	2750	17
2	2	Corniche Sud	223	22	18.1	166	51.7	South	Site	1	4	1450	15
3	3	Boulari	224	22	18.1	166	51.7	South	Site	1	11	1550	99
4	4	Dumbéa	234	22	10.5	166	26.0	West	Upriver	9	12	1600	231
5	5	Ondémia	235	22	9.8	166	21.9	West	Site	1	8	1300	57
6	6	South of Tontouta	239	22	1.9	166	9.8	West	Upriver	9	14	1100	132
7	10	La Foa	247	21	44.2	165	43.6	West	Upriver	6	13	1350	406
8	13	Néra	254	21	36.1	165	28.9	West	Site	1	11	1350	541
9	14	Le Cap	258	21	31.4	165	28.9	West	Upriver	5	11	1200	176
10	15	Poya - Népou	264	21	20.6	165	6.7	West	Site	1	7		
11	16	Népoui	265	21	8.1	164	51.8	West	Site	1	3		
12	17	Pouembout	270	21	8.4	164	51.4	West	Site	1	10	1300	324
13	19	Témala	275	20	55.9	164	39.2	West	Upriver	5	8	1350	356
14	20	Voh	283	20	59.9	164	41.9	West	Upriver	8	7	1300	231
15	21	Oundjo - Pinjane	284	21	3.1	164	42.6	West	Site	1	2	1100	5
16	22	Iouanga	295	20	42.4	164	22.6	West	Upriver	10	10	1250	506
17	23	Ouanac - Koumac	304	20	33.9	164	15.5	West	Upriver	8	10	1200	237
18	25	Sud Néhoué	306	20	23.6	164	9.3	West	Site	1	10	1350	16
19	41	Diahot	336	20	16.4	164	17.9	North	Upriver	34	18	1500	689
20	44	Balade	399	20	18.3	164	30.1	East	Site	1	10	1600	34
21	45	Pouébo	400	20	21.9	164	34.4	East	Site	1	8	2000	31
22		Colnett	402	20	30.5	164	45.8	East	Site	1	6		
23		Galarino	403	20	30.9	164	46.1	East	Site	1	5	4200	4
24		Tao	404	20	33.8	164	49.2	East	Site	1	3	4000	9
25	46	Tanghène	405/6	20	40.8	164	55.5	East	Site	1	10	2500	50
26	49	Tiouandé - Maina	407	20	40.5	164	54.3	East	Site	1	13	2300	317
27	51	Tivaé	408/9/10	20	46.8	165	10.6	East	Site	1	15	3000	32
28	52	Tiponite	411	20	46.7	165	11.2	East	Site	1	3		
29	55	Tiwaka	412/6	20	52.3	165	15.9	East	Site	1	9	2500	389
30	53	Amoa	413	20	55.0	165	18.3	East	Site	1	1		
31	54	Pwééo	414	20	53.4	165	16.6	East	Site	1	8		
32	56	Tchamba	417	21	0.7	165	23.2	East	Site	1	16	2500	188
33	58	Houaïlou	419/22	21	16.7	165	38.1	East	Site	1	7		
34	59	Canala	423/41	21	30.6	165	58.7	East	Upriver	12	16	1850	239
35	60	Saint Jean Baptiste	442/4	21	30.7	165	58.1	East	site	1	8	4000	182

Appendix 2. Mangrove species checklists for 35 sites listed in Appendix 1. Species codes listed in Table 1.

	Location	AI	AA	AS	AM	BG	CT	CI	DS	EA	HL	LL	LR	LX	PA	RA	RL	RX	RO	RE	RS	SH	SA	SC	XG	#
1	Baie du Carénage			1		1				1		1								1	1				5	
2	Corniche Sud					1														1	1				4	
3	Boulari			1	1	1				1	1		1							1	1		1		11	
4	Dumbéa	1		1	1	1				1	1	1	1							1	1	1			12	
5	Ondémia			1	1	1				1			1							1	1	1			8	
6	South of Tontouta	1		1	1	1				1	1	1	1	1						1	1	1	1		14	
7	La Foa	1		1	1	1				1	1	1	1	1						1	1	1			13	
8	Néra	1			1	1				1	1	1	1							1	1	1	1		11	
9	Le Cap			1	1	1				1	1	1	1							1	1				11	
10	Poya - Népou	1			1	1				1			1							1	1				7	
11	Népoui				1	1														1	1				3	
12	Pouembout	1			1	1				1	1		1							1	1		1		10	
13	Ténala	1			1	1				1			1							1	1				8	
14	Voh	1			1	1				1										1	1				7	
15	Oundjo - Pinjane				1																1				2	
16	Iouanga	1		1	1	1				1			1							1	1		1		10	
17	Ouanac - Koumac	1			1	1				1			1		1					1	1	1			10	
18	Sud Néhoué				1	1				1	1	1	1	1						1	1	1			10	
19	Diahot	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1		18	
20	Balade			1	1	1				1		1	1			1				1	1				10	
21	Pouébo			1	1					1			1				1			1	1				8	
22	Colnett			1		1				1	1					1					1				6	
23	Galarino					1				1		1				1									5	
24	Tao				1											1					1		1		3	
25	Tanghène	1			1	1				1						1		1		1	1		1		10	
26	Tiouandé - Maina	1		1	1	1				1	1					1	1	1	1	1	1				13	
27	Tiwaé	1		1	1	1				1	1					1	1	1	1	1	1				15	
28	Tiponite			1														1							3	
29	Tiwaka	1		1	1	1		1		1									1	1			1		9	
30	Amoa																								1	
31	Pwééo				1	1				1						1				1	1		1		8	
32	Tchamba	1		1	1	1			1	1	1	1				1	1			1	1		1		16	
33	Houaïlou	1		1	1	1				1										1					7	
34	Canala	1	1	1	1	1				1	1	1				1	1	1	1	1	1		1		16	
35	Saint Jean Baptiste					1				1	1	1									1	1			8	
	TOTAL	18	2	19	28	30	1	1	2	29	14	12	16	3	1	10	6	4	28	21	26	5	14	5	17	24
	Spp	AI	AA	AS	AM	BG	CT	CI	DS	EA	HL	LL	LR	LX	PA	RA	RL	RX	RO	RE	RS	SH	SA	SC	XG	

Appendix 3. Mangrove pictures (Photos Cyril Marchand et Norman Duke)

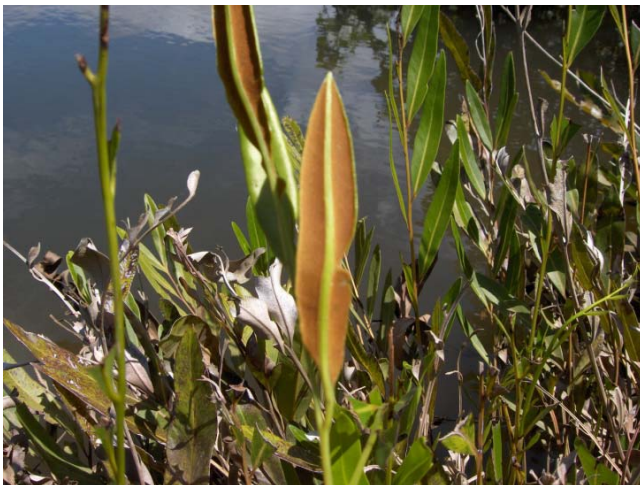
Fleur *Acanthus ilicifolius* :



Acrostichum aureum au pied de *Bruguiera gymnorhiza* (*Rhizophora* en arrière plan) :



Acrostichum speciosum :



Avicennia marina :



Fleur *Avicennia marina* :



Bruguiera gymnorhiza :



Ceriops Tagal :



Dolichandrone spathacea :



Excoecaria agallocha :



Fruits de *Heritiera littoralis* :



Lumnitzera littorea (*Bruguiera gymnorhiza* en arrière plan) :



Fleurs de *Lumnitzera littorea* :



Fleurs de *Lumnitzera racemosa* :



Fleurs de *Lumnitzera X rosea* :



Fleurs de *Pemphis acidula* :



Fleurs de *Rhizophora stylosa* :



Rhizophora spp. :



Rhizophora spp. :



Rhizophora X neocaledonica :



Fleurs de *Scyphiphora hydrophylacea* :



Sonneratia alba :



Fleur de *Sonneratia alba* :



Fleur de *Sonneratia caseolaris* :



Fruit de *Sonneratia caseolaris* :



Xylocarpus granatum :



Fleurs de *Xylocarpus granatum* :



Fruit de *Xylocarpus granatum* :



**Relations entre les caractéristiques physico-chimiques
des sédiments de mangrove et le type des palétuviers
- *Implications sur la répartition spatiale des espèces* -**



Cyril Marchand

Décembre 2007

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

1 Introduction

Dans les mangroves, l'existence de zones plus ou moins distinctes parallèles au trait de côte, chacune dominée par une espèce végétale différente, est communément observée de par le monde. Cependant, la zonation des mangroves se manifeste souvent comme une mosaïque qui varie suivant les interactions physiques, biologiques et chimiques qui s'établissent entre plante et substrat dans une zone donnée (Baltzer, 1969). De nombreux facteurs influençant la distribution des espèces ont été mis en évidence. Il s'agit notamment de la salinité (Walsh, 1974), des propriétés spécifiques des propagules (Rabinowitz, 1978), des conditions d'oxydo-réduction et des teneurs en sulfures des sédiments (Nickerson et Thibodeau, 1985), de la durée d'inondation par les marées (McKee, 1993), et finalement du taux de sédimentation (Ellison, 1998). La succession des espèces végétales dans le temps, résultat des variations de zonation en fonction de modifications de paramètres externes, a été largement étudiée et débattue depuis de nombreuses années, malheureusement peu de modèles cohérents et de procédés ont pu être mis en évidence. Par ailleurs, les besoins écologiques de nombreuses espèces restent ambigus, du fait de résultats contradictoires selon les zones d'étude. Réciproquement, l'influence des palétuviers sur la géochimie du substrat est considérable, notamment par l'intermédiaire des systèmes racinaires (Marchand et al. 2004). Le présent chapitre est consacré à l'étude de certaines propriétés physico-chimiques des sédiments (salinité, potentiel d'oxydo-réduction, pH) sous les différentes zones végétales rencontrées lors de la phase de terrain réalisée en novembre 2006, et ce afin de définir des interactions entre palétuviers et substrat, et de participer ainsi à la compréhension de la logique de répartition des différentes espèces de mangrove le long du littoral de la Nouvelle-Calédonie. Dans cet objectif, il nous a également semblé pertinent d'effectuer une synthèse des travaux de Frédéric Baltzer sur la répartition des espèces végétales en fonction du niveau du sol et des hauteurs caractéristiques des marées

2 Méthodologie

Lors de la mission de terrain effectuée du 21 novembre au 12 décembre 2006, 19 carottes de sédiments ont été prélevées sous différents types de palétuviers sur la totalité du pourtour du littoral Calédonien (cf. Tab. 1). 6 carottes ont été prélevées sous le genre *Rhizophora*, 7 sous *Avicennia*, 3 sous *Bruguiera*, 2 sous *Lumnitzera*, 1 sous *Ceriops*, et 1 dans un tanne à *Salicornia*. Le choix des sites a été orienté à l'aide des photos aériennes et défini en fonction des critères visibles sur le terrain, i.e. homogénéité spécifique et étendue de la formation. Les carottes ont été prélevées pour la plupart sur une profondeur de 80 cm, au moyen d'une tarière-gouge de 8 cm de diamètre (photo 1).



Photo 1 : Introduction de la tarière gouge dans le sédiment

Les mesures de salinité ont été réalisées à l'aide d'un réfractomètre ATAGO® sur de l'eau interstitielle extraite à partir de micro-préleveurs de type Rhizon® insérés dans la carotte tous les 10 cm (photo 2).



Photo 2 : Extraction d'eau interstitielle par la méthode des Rhizons®. Ces derniers sont connectés à des seringues dans lesquelles on crée une dépression.

N° Carotte	Site	Date	Coordonnées		Végétation	Profondeur (cm)	Remarques
				WGS 84			
1	Boulari	21/11/2006	166,51°E / 22,23°S		Rhizophora	54	Nbreaux terriers de crabe
2	Dumbéa	22/11/2006	166,42°E / 22,18°S		Bruguiera	44	
3	Tontouta	23/11/2006	166,19°E / 22,02°S		Lumnitzera	67	
4	Baie de Chambeyron	24/11/2006	165,8°E / 21,8°S		Avicennia	64	
5	Moindou	25/11/2006	165,66°E / 21,7°S		Rhizophora	83	Présence de Bruguiera
6	Le Cap	26/11/2006	165,27°E / 21,52°S		Lumnitzera	77	
7	Pouembout	27/11/2006	164,85°E / 21,13°S		Avicennia	68	
8	Oundjo	28/11/2006	164,71°E / 21,05°S		Avicennia	72	Zone à Rhizophora mort proche
9	Kaala Gomen	29/11/2006	164,36°E / 20,69°S		Rhizophora	44	Développement Avicennia sur ancienne forêt à Rhizophora
10	Malabu Beach	30/11/2006	164,24°E / 20,54°S		Avicennia	65	Développement sur ancienne zone récifale
12	Diahot	02/12/2006	164,3°E / 20,28°S		Cerops	66	Arbres de très petite taille (<1m)
14	Diahot	02/12/2006	-		Rhizophora	68	Zone sableuse, très proche Avicennia
15	Diahot	03/12/2006	164,3°E / 20,31°S		Avicennia	82	Arbres de très petite taille (<1m)
16	Diahot	03/12/2006	164,33°E / 20,32°S		Bruguiera	77	Très sableux, nbreaux terriers de crabe
17	Diahot	04/12/2006	164,38°E / 20,35°S		Rhizophora	80	
18	Pouébo	05/12/2006	164,57°E / 20,36°S		Avicennia	73	
19	Hienghène	06/12/2007	165,02°E / 20,72°S		Rhizophora	71	
20	Houailou	07/12/2006	165,63°E / 21,27°S		Bruguiera	57	Développement sur ancienne zone à Rhizophora
21	Canala	08/12/2006	165,96°E / 21,57°S		Avicennia	67	

Tab. 1 : Position des différentes carottes prélevées

Les mesures de pH et de potentiel d'oxydo-réduction (redox) ont été effectuées dès le prélèvement de la carotte par introduction directe des électrodes dans cette dernière (photo 3). Les mesures ont été réalisées tous les 5 cm. Le pH a été mesuré à l'aide d'une électrode pH et d'un pH-mètre WTW®. Le pH est défini par la teneur en ion H^+ , et reflète le caractère acide ou basique du milieu. Le redox a été mesuré à l'aide d'une électrode combinée Pt – Ag/AgCl (référence) reliée à un voltmètre WTW®. Les valeurs du potentiel d'oxydo-réduction sont données par rapport à l'électrode normale à hydrogène (Eh), i.e. 202 mV ont été ajoutés à la valeur lue sur le voltmètre. Le redox reflète le caractère oxydant ou réducteur du milieu. Le potentiel redox ne définit pas à lui seul les conditions d'oxydo-réduction car celles-ci sont également influencées par le pH. Dans les sédiments, le terme oxique est défini par la présence d'oxygène moléculaire dissous mesurable. Le terme suboxique est défini par l'absence d'oxygène et de sulfures dissous et par la présence de manganèse ou de fer dissous. Finalement le terme anoxique est défini par la présence de processus de sulfato-réduction. Pour un pH proche de la neutralité, il existe une équivalence entre ces termes et les valeurs redox mesurées :

Oxique > 400 mV, 100 mV < Suboxique < 400 mV, Anoxique < 100 mV



Photo 3 : Mesure des paramètres physico-chimiques par introduction directe des électrodes dans la carotte dès son prélèvement.

2 Synthèse des travaux de F. Baltzer

Les zones végétales des mangroves sont régies par un grand nombre de facteurs dont un des plus évidents est le niveau topographique du sol, et donc la profondeur et la fréquence d'immersion par les marées. La fréquence et la durée des immersions, en influant sur la salinité des eaux interstitielles et l'engorgement hydrique des sols, ont un rôle identique. Les espèces des mangroves ont une extension bathymétrique et un niveau topographique préférentiels qui sont mis en évidence par les variations de leur fréquence en fonction des niveaux topographiques du sol. A partir des données d'un nivellement précis, la répartition de chacune des espèces végétales les plus répandues a été étudiée en fonction du niveau du sol dans la mangrove de Dumbéa. Les courbes de fréquence par leur mode, mettent en évidence des hauteurs maximales caractéristiques pour chaque espèce (Fig. 1). *Avicennia* et *Salicornia* ont une extension bathymétrique faible, 0,25 m, respectivement entre 1,5 et 1,75, et entre 1,55 et 1,80. Le mode est à 1,72 m au-dessus du zéro des cartes marines pour *Salicornia*. Il est à 1,60 m pour *Avicennia*. Les courbes de fréquence de *Rhizophora* et *Bruguiera* ont des maximums dédoublés qui traduisent vraisemblablement un phénomène de compétition entre ces deux espèces. *Rhizophora* présente la bande de peuplement la plus étalée avec un premier maximum à 0,70 m et un second à 1,35 m, séparés par ceux de *Bruguiera*. En l'absence de cette espèce, il semble que l'optimum occuperait une position intermédiaire, vers 1 m, ce qui est confirmé par la vigueur extrême des sujets croissant à ce niveau. *Bruguiera* présente également 2 maximums de fréquence qui sont situés à 1 m et 1,28 m. Les coïncidences sont remarquables entre les niveaux où apparaissent le maximum de fréquence des diverses espèces et les hauteurs caractéristiques des marées. L'optimum de *Salicornia* se trouve au niveau des hautes mers supérieures de grande vive-eau. L'optimum des *Avicennia* coïncide avec le niveau des hautes mers de vive-eau. Pour *Bruguiera* et *Rhizophora*, le dédoublement des optimums rend plus délicate l'interprétation. On peut noter que *Bruguiera* possède présente ses 2 maximums entre les hautes mers de grande morte-eau et les hautes mers de morte-eau. C'est une espèce qui semble être favorisée par un battement des marées tous les jours. Elle craint la sécheresse des niveaux supérieurs mais peut cependant y prospérer si un apport d'eau douce compense la rareté des marées. Le seuil inférieure de présence est très tranché et semble due à une limite de résistance à l'immersion. *Rhizophora* est l'espèce colonisatrice des bords de l'eau libre. Son optimum inférieur est situé à 0,65 m, 15 cm au dessus des basses mers de morte-eau. Son optimum supérieur est se situe à 1,34, tout près de celui de *Bruguiera*, la limite entre les deux étant au niveau des pleines mers supérieures de morte-eau. *Rhizophora* supporte donc très bien les émergences prolongées. Cependant le niveau topographique n'est pas seul en cause dans la zonation des espèces végétales, ainsi l'abondance plus ou moins grande des eaux douces ainsi que le renouvellement des éléments nutritifs pas le système de drainage peuvent faire varier le précédent schéma. Pour atteindre un développement optimal, les palétuviers ont besoin d'un renouvellement des substances nutritives des sédiments, apportées par les eaux. La localisation des zones végétales et le degré de développement

des individus dans ces zones mettent en évidence des gradients de fertilité qui sont liés à l'abondance de la sédimentation et vont toujours d'un pôle fertile constitué d'une baie marine, ou d'un chenal d'eau marine ou fluvio-marine, vers un pôle infertile au centre du marais.

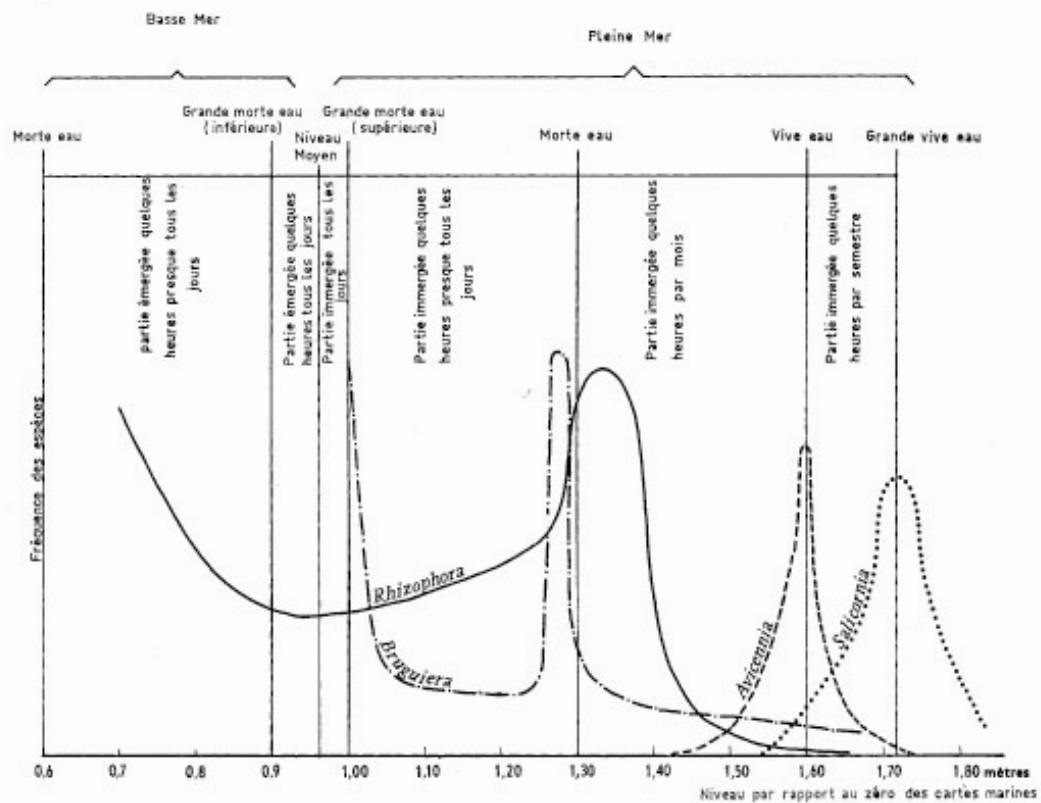


Fig. 1 : Courbes représentant la fréquence selon laquelle chaque espèce de palétuvier occupe un niveau topographique donné / Rapports entre ces courbes de fréquence et les hauteurs caractéristiques des marées (Réalisation F. Baltzer, 1969)

4 Résultats et Discussion

Les résultats des mesures de salinité, de pH et de potentiels redox seront discutés par genre de mangrove.

4.1 *Rhizophora*

Sous le genre *Rhizophora*, la salinité des eaux interstitielles varie de 16 à 55 g l⁻¹ (Tab. 2).

Famille		Eh (mv)	pH	Salinité
<i>Rhizophora</i>	Moyenne	20,89	6,34	40,5
	Nbre de valeurs	81	81	46
	Ecart-type	195,64	0,58	6,86
	Max	451	7,01	55
	Min	-197	4,03	16
<i>Avicennia</i>	Moyenne	51,5	6,53	68
	Nbre de valeurs	101	101	55
	Ecart-type	162,23	0,28	14,13
	Max	401	7,09	92
	Min	-203	5,66	17
<i>Bruguiera</i>	Moyenne	170,9	5,89	33,4
	Nbre de valeurs	28	28	14
	Ecart-type	148,04	0,36	6,73
	Max	370	6,41	41
	Min	-60	4,93	15
<i>Lumnitzera</i>	Moyenne	214,8	6,3	34,3
	Nbre de valeurs	29	29	19
	Ecart-type	102,26	0,29	7,87
	Max	357	6,72	45
	Min	14	5,8	20
<i>Ceriops</i>	Moyenne	238	6,27	46
	Nbre de valeurs	14	14	7
	Ecart-type	31,11	0,22	8,43
	Max	276	6,66	65
	Min	167	6,03	42

Tab. 2 : Analyses statistiques des différents paramètres étudiés (réalisées d'après toutes les mesures effectuées).

L'homogénéité des salinités autour de 40 g l⁻¹, ce qui est légèrement supérieur à la salinité des eaux du lagon, est un bon indicateur de la zone dans laquelle ce type de palétuvier peut se développer. Il n'existe pas d'évolution remarquable de la salinité avec la profondeur, excepté pour la carotte C17 (Fig. 2 et Tab. 3). Dans cette dernière, les valeurs augmentent, passant de 16 à 49 g l⁻¹. Les faibles valeurs de surface peuvent être liées à une dilution par des eaux douces continentales. Ceci

proviendrait du fait que cette mangrove se situe légèrement en amont sur le Diahot, en comparaison des autres mangroves à *Rhizophora* qui sont situées en front de mer. Ce résultat nous montre également que le genre *Rhizophora* peut se développer dans des eaux saumâtres.

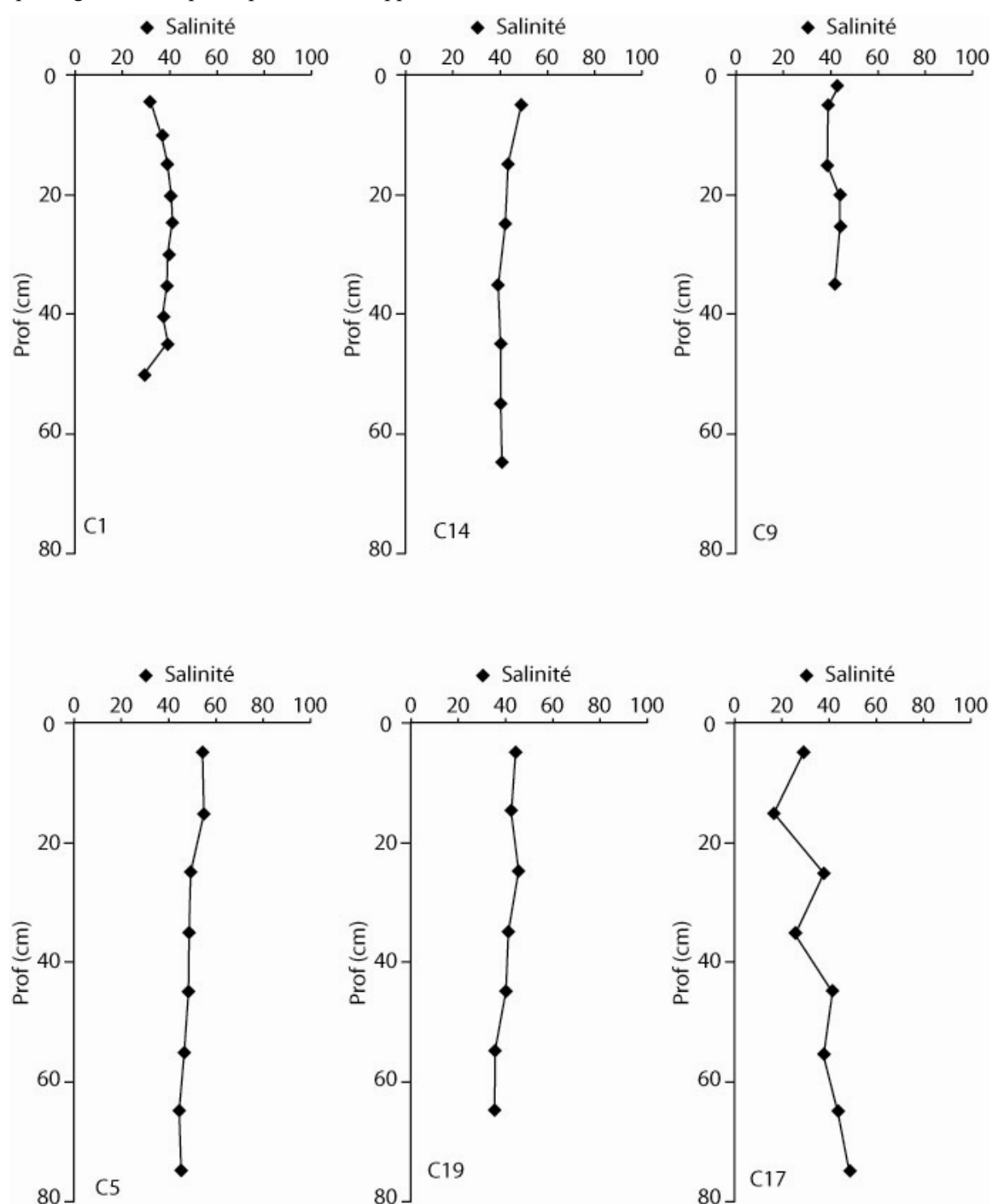


Fig. 2 : Evolution verticale de la salinité dans les différentes carottes prélevées sous *Rhizophora*.

Famille		Eh (mv) 0-20 cm	Eh (mv) < 20 cm	pH 0-20 cm	pH <20 cm	Salinité 0-20 cm	Salinité <20 cm
<i>Rhizophora</i>	Moyenne	49,6	-62,37	6,07	6,5	39,93	40,86
	Nbre de valeurs	30	51	30	51	16	30
	Ecart-type	202,14	181,11	0,72	0,42	10,76	5,51
	Max	402	451	6,7	7,01	55	49
	Min	-170	-197	4,03	5,22	16	26
<i>Avicennia</i>	Moyenne	167,23	-10	6,39	6,61	53,31	74
	Nbre de valeurs	35	66	35	66	16	39
	Ecart-type	115,53	149,91	0,30	0,23	16,00	8,90
	Max	401	293	6,96	7,09	71	92
	Min	-149	-203	5,66	6,22	17	45
<i>Bruguiera</i>	Moyenne	215,15	108,2	6,01	6,09	39,5	39,14
	Nbre de valeurs	15	22,00	15	22,00	8	14,00
	Ecart-type	116,33	144,57	0,36	0,49	14,81	5,72
	Max	370	357	6,58	6,78	55	48
	Min	0	-60	5,55	4,93	15	34

Tab. 3 : Analyses statistiques des différents paramètres étudiés (réalisées en séparant les 20 cm superficielles et le reste des carottes).

Dans les carottes prélevées sous *Rhizophora*, les potentiels redox varient de -197 à 451 mV, avec une moyenne proche de 20 mV. Les profils verticaux du Eh varient fortement suivant les sites étudiés. Les carottes C1, C9, et C14 sont caractérisées par une anoxie complète sur la totalité du profil, Eh<100mV (Fig. 3). Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les forêts à *Rhizophora* sont généralement situées en front de mer et sont donc longuement recouvertes par les marées. Ceci implique que les sédiments sus-jacents sont continuellement gorgés d'eau. La décomposition des matières organiques introduites par les palétuviers dans ces sédiments aux teneurs en eau élevées peut conduire à l'anoxie, et donc expliquer les valeurs de Eh <100 mV. En ce qui concerne les carottes C5, C17, et C19, les parties supérieures sont caractérisées par des Eh variant entre 100 et 400 mV. Ces conditions suboxiques évoluent vers des conditions anoxiques en profondeur, la moyenne des valeurs sous les 20 cm superficielles étant de - 60 mV. Les conditions suboxiques de surface peuvent avoir deux explications. Tout d'abord, la bioturbation par les crabes facilite les circulations d'eau et le renouvellement de l'oxygène, ce qui va induire une augmentation des valeurs de Eh. La densité élevée de terriers de crabes observée autour des carottes C5 et C19 peut confirmer cette hypothèse. La seconde explication, qui concerne vraisemblablement la carotte C17, est liée à la nature des sédiments. En effet, cette carotte est essentiellement constituée de matériaux sableux fortement poreux, qui facilitent les circulations aqueuses et gazeuses au sein du sédiment et donc le renouvellement de l'oxygène. Par ailleurs, comme nous le montrent les valeurs de salinité, cette mangrove est moins soumise aux influences marines du fait de sa position. Par conséquent, les sédiments de cette carotte ne sont pas constamment gorgés d'eau, et d'ailleurs lors du prélèvement nous avons pu observer que la partie supérieure était desséchée.

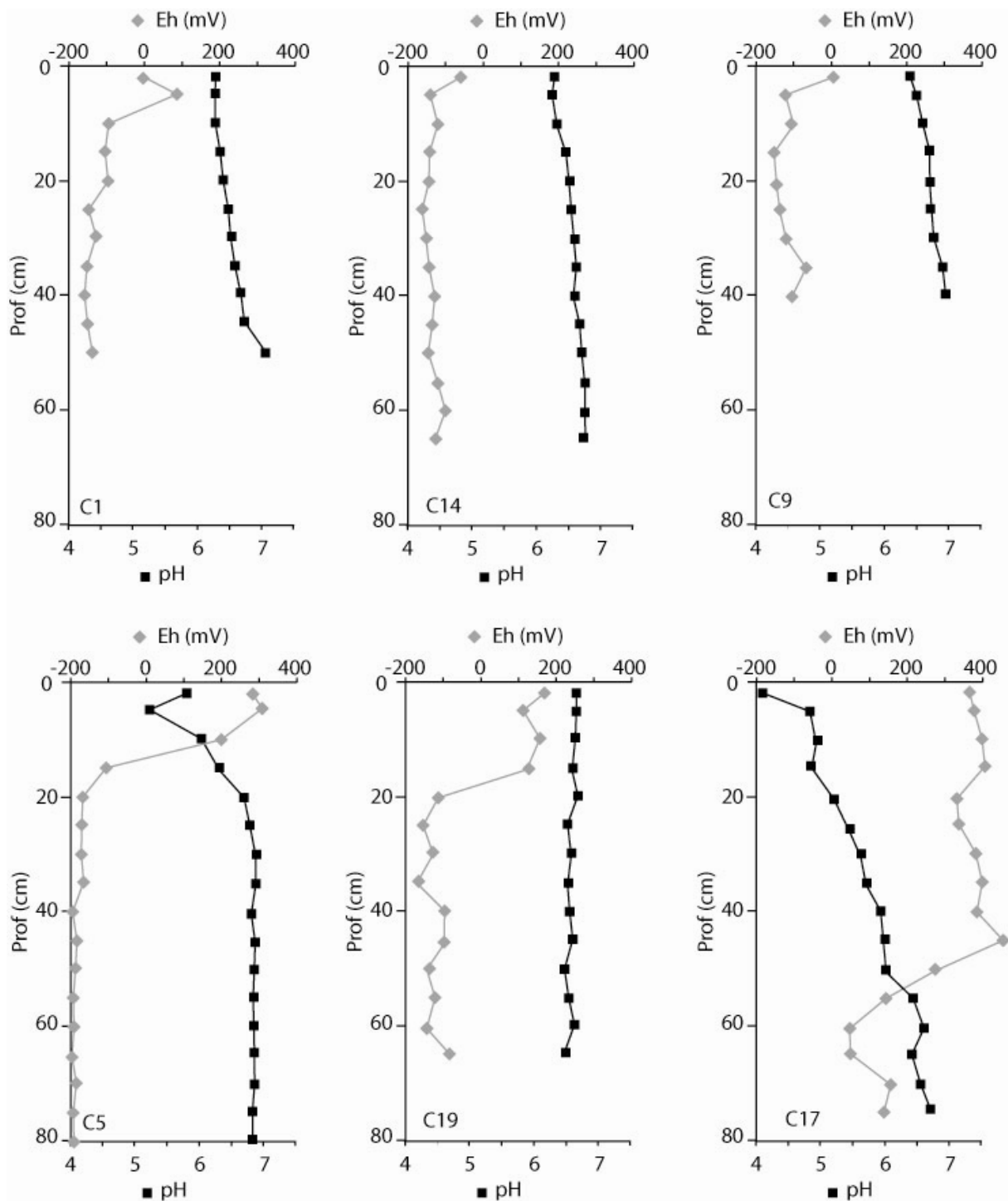


Fig. 3 : Evolution verticale des paramètres physico-chimiques (Eh et pH) dans les différentes carottes prélevées sous *Rhizophora*.

Les pH varient de 4 à 7, avec une moyenne proche de 6,3. L'évolution verticale des pH est corrélée de façon négative à celle des potentiels redox. Les conditions les plus acides ont été mesurées là où les Eh sont les plus élevés, c.-à-d. dans les parties supérieures des carottes C5 et C17. Deux phénomènes peuvent expliquer cette acidité en surface. Tout d'abord, plus les conditions sont oxydantes et plus la

matière organique introduite dans les sédiments par les palétuviers va être décomposée rapidement. Cette décomposition entraîne une libération d'ions H^+ et donc une acidification du milieu. Deuxièmement, il existe des phénomènes saisonniers. Les prélèvements que nous avons effectués ont eu lieu durant la saison sèche. En saison des pluies, la carotte C17 aurait été gorgée d'eau comme celles se situant sur le front de mer et nous y aurions certainement observé des conditions anoxiques. Conditions, qui par définition, sont propices à la précipitation des sulfures. Cependant l'oxydation de ces derniers provoque la libération d'ions H^+ , et entraîne l'acidification du milieu. L'oxydation des sulfures, du fait d'un assèchement du sédiment, peut avoir lieu durant la saison sèche. En résumé, l'acidité peut provenir à la fois de la décomposition des matières organiques mais également de l'oxydation des sulfures qui se sont formés pendant la saison des pluies précédentes.

4.2 Avicennia

Sous le genre *Avicennia*, la salinité varie de 17 à 92 g l⁻¹, avec une valeur moyenne à 68 (Tab. 2), ce qui est nettement supérieur aux valeurs mesurées sous *Rhizophora*. Toutes les carottes présentent une augmentation plus ou moins régulière de la salinité avec la profondeur (Fig. 4). La salinité moyenne en surface est proche de 50 g l⁻¹ alors qu'elle est supérieure à 70 en profondeur (Tab. 3), ce qui est quasiment deux fois la salinité des eaux du lagon. Plusieurs phénomènes peuvent se combiner pour expliquer ces valeurs élevées et ce gradient. Les salinités élevées sont le résultat de la combinaison entre un phénomène physique, l'évaporation, et un phénomène biologique, la transpiration des palétuviers, comme cela a été observé dans les mangroves Australiennes (Sam et Ridd, 1998). En Nouvelle Calédonie, les *Avicennia* se situent derrière les *Rhizophora* à une élévation topographique légèrement supérieure comme le montrent les travaux de F. Baltzer. Ceci implique que les sédiments sous *Avicennia* sont plus souvent découverts et donc soumis à des phénomènes d'évaporation plus importants. Dans les mangroves de Guyane, nous avons pu mettre en évidence que la salinité sous *Avicennia* est toujours supérieurs à celle sous *Rhizophora*, y compris pour des mangroves situées en front de mer (Marchand *et al.*, 2004). Ceci souligne l'importance des phénomènes de transpiration spécifique à chaque espèce. Cependant, le système racinaire des *Avicennia* se développe dans les 30 cm supérieurs du sédiment, et l'évapotranspiration a principalement lieu dans cette zone. Elle ne peut donc pas à elle seule expliquer les valeurs élevées mesurées en profondeur. Comme nous l'avons suggéré en Guyane, il s'agirait vraisemblablement de phénomène de percolation des eaux interstitielles salées, et donc plus dense, qui migrent de la surface vers la profondeur où elles s'accumulent (Marchand *et al.*, 2006). Le fait que la salinité en surface de la carotte C7 soit inférieure à celle du lagon marque l'influence des eaux douces fluviales sur cette mangrove et montre la large gamme de tolérance à la salinité que possèdent les *Avicennia* (Fig. 4).

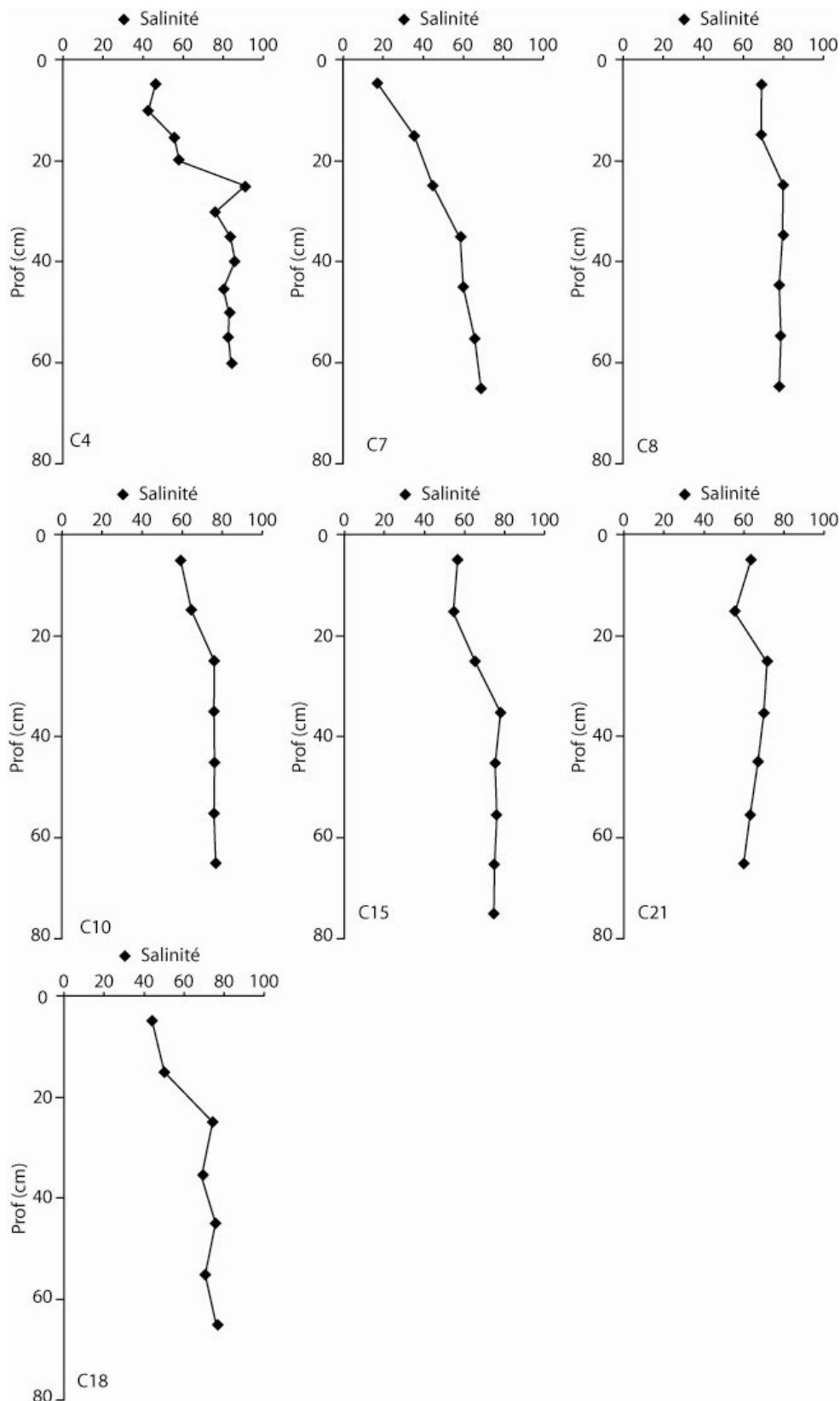


Fig. 4 : Evolution verticale de la salinité dans les différentes carottes prélevés sous *Avicennia*.

Les potentiels redox varient de -203 à $+401$ mV, avec une moyenne proche de $+50$ mV (Tab.1). Excepté la carotte C18, les carottes présentent des valeurs proches de 200 mV dans leur partie

supérieure (Tab.3 et Fig. 5), puis des valeurs inférieures à 0 mV en profondeur. Les valeurs élevées en surface proviennent du fait que le système racinaire des *Avicennia* est capable de diffuser de l'oxygène dans le sédiment et par conséquent d'induire des conditions suboxiques à oxiques dans un sédiment qui devrait être anoxique (Scholander *et al.*, 1955). Il existe une corrélation négative entre la densité de pneumatophores, qui sont les ramifications de l'appareil racinaire à géotropisme négatif et qui sont les organes de respiration des palétuviers, et le degré d'anoxie du sédiment, *i.e.* plus il y a de pneumatophores et moins le sédiment est anoxique (McKee *et al.*, 1988). Cependant, plusieurs raisons peuvent faire que les conditions ne soient pas oxydantes sous toutes les forêts à *Avicennia*. La principale est la teneur en matière organique. Lorsque celle-ci est trop importante, l'oxygène diffusé par le système racinaire est rapidement consommé et le milieu devient anoxique. Ceci pourrait expliquer les plus faibles valeurs mesurées sous la carotte C18. D'une manière générale, plus la forêt est âgée, plus sa biomasse est importante, plus le substrat est riche en MO, et plus son substrat sera anoxique malgré la diffusion d'oxygène depuis le système racinaire.

En ce qui concerne les pH, ceux-ci varient de 5.66 à 7.09, avec une valeur moyenne proche de 6.5. Tout comme sous *Rhizophora*, on observe une corrélation négative entre les pH et les Eh. Cependant, les pH sont nettement moins acides, alors que certains Eh sont tout aussi élevés que sous *Rhizophora*. Ceci peut provenir du fait que l'acidification liée à l'oxydation des sulfures serait moins importante. En effet, le système racinaire diffuse de l'oxygène dans le sédiment quelle que soit la saison et donc la sulfato-réduction s'effectue rarement sous *Avicennia*. Sous *Rhizophora*, les sulfures se forment à chaque saison des pluies et s'oxydent à chaque saison sèche. En profondeur, la stabilité des pH autour de 6.6, que ce soit sous *Rhizophora* ou sous *Avicennia*, marque d'une part la plus faible activité bactériologique par rapport aux sédiments de surface, et d'autre part s'explique par l'augmentation de la réserve alcaline des eaux interstitielles, du fait de la salinité plus élevée et de la concentration par les phénomènes d'évapotranspiration.

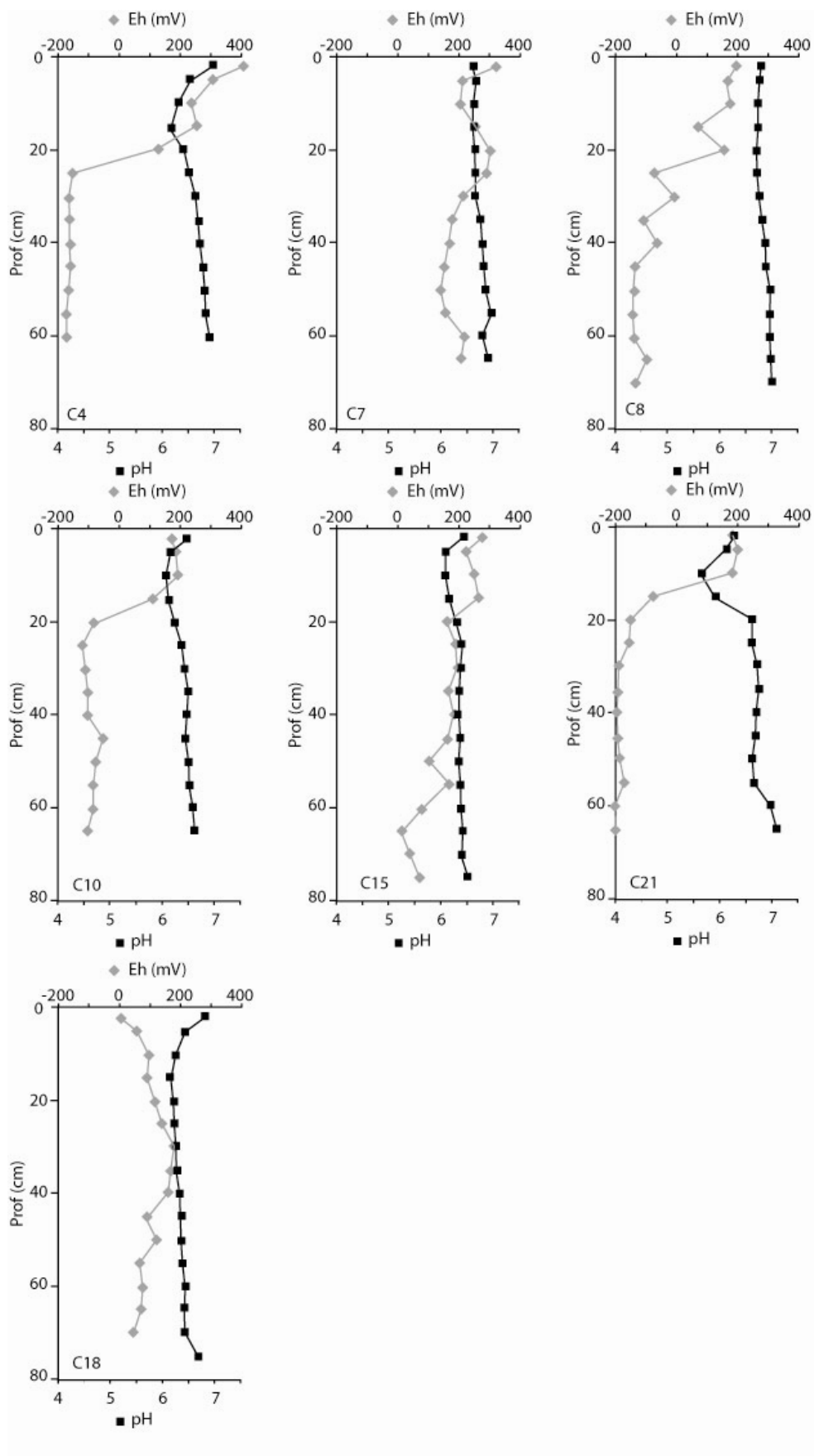


Fig. 5 : Evolution verticale des paramètres physico-chimiques (Eh et pH) dans les différentes carottes prélevées sous *Avicennia*.

4.3 Bruquiera, Lumnitzera et Ceriops

Bruguiera, Lumnitzera et Ceriops sont 3 genres de palétuviers moins présents que les deux précédents en Nouvelle Calédonie. Le nombre de carottes prélevées sous ces formations n'est pas suffisant pour que cela soit représentatif et ne peut fournir que des indications.

Les profils mesurés sous *Bruguiera, Lumnitzera* et *Ceriops* sont présentés dans les figures 6, 7, et 8, respectivement. En ce qui concerne *Bruguiera* et *Lumnitzera*, nos observations révèlent que ceux-ci se développent dans des zones plus éloignées du littoral que les *Rhizophora* et à des élévations comprises entre celles des *Rhizophora* et des *Avicennia*. Les salinités y sont plus faibles que sous les 2 espèces précédentes, variant entre 15 et 45 g l⁻¹, avec une moyenne légèrement inférieure à celle du lagon (Tab. 2). Ce résultat montre que ces types de palétuvier se développent dans des zones sous l'influence des eaux douces continentales. Leur position fait que leurs sédiments sont moins souvent gorgés d'eau, ce qui explique les valeurs relativement élevées de Eh, avec des valeurs moyennes à 210 et 274 mV. Parallèlement, les pH y sont légèrement plus faibles que sous les autres mangroves, et atteignent 4.93 sous *Bruguiera*. Cette acidité peut être liée au cycle saisonnier des sulfures. En effet, ces deux palétuviers ne sont pas connus pour avoir la capacité de diffuser de l'oxygène dans le sédiment et par conséquent des processus de sulfato-réduction pourraient être observés sous ces forêts en saison des pluies.

La zone à Ceriops échantillonnée était très proche d'une forêt à Avicennia qui pourrait avoir influencée les résultats.

Les Eh varient entre 200 et 300 mV sans réelle tendance avec la profondeur (Fig. 8), tandis que les pH sont stables autour de 6.3 (Tab. 2). La salinité diminue avec la profondeur, passant de 60 en surface à 40. La valeur élevée en surface est vraisemblablement le résultat de phénomène d'évaporation.

4.4 Tannes

Seule la salinité a pu être mesurée dans la vase compacte des tannes.

La végétation des marais maritimes sursalés (tannes) s'étend au niveau des marées d'équinoxe. Les tannes comportent un pré salé, une zone à voile algaire et une zone nue sans végétation, où la salure est plus élevée et dépasse les 100 g l⁻¹. Dans les prés salés, l'espèce la plus fréquente est *Salicornia australis*, qui occupent un sol argileux très plan. Dans les zones plus élevées, le pré salé est remplacé par un voile algaire à Cyanophycées.

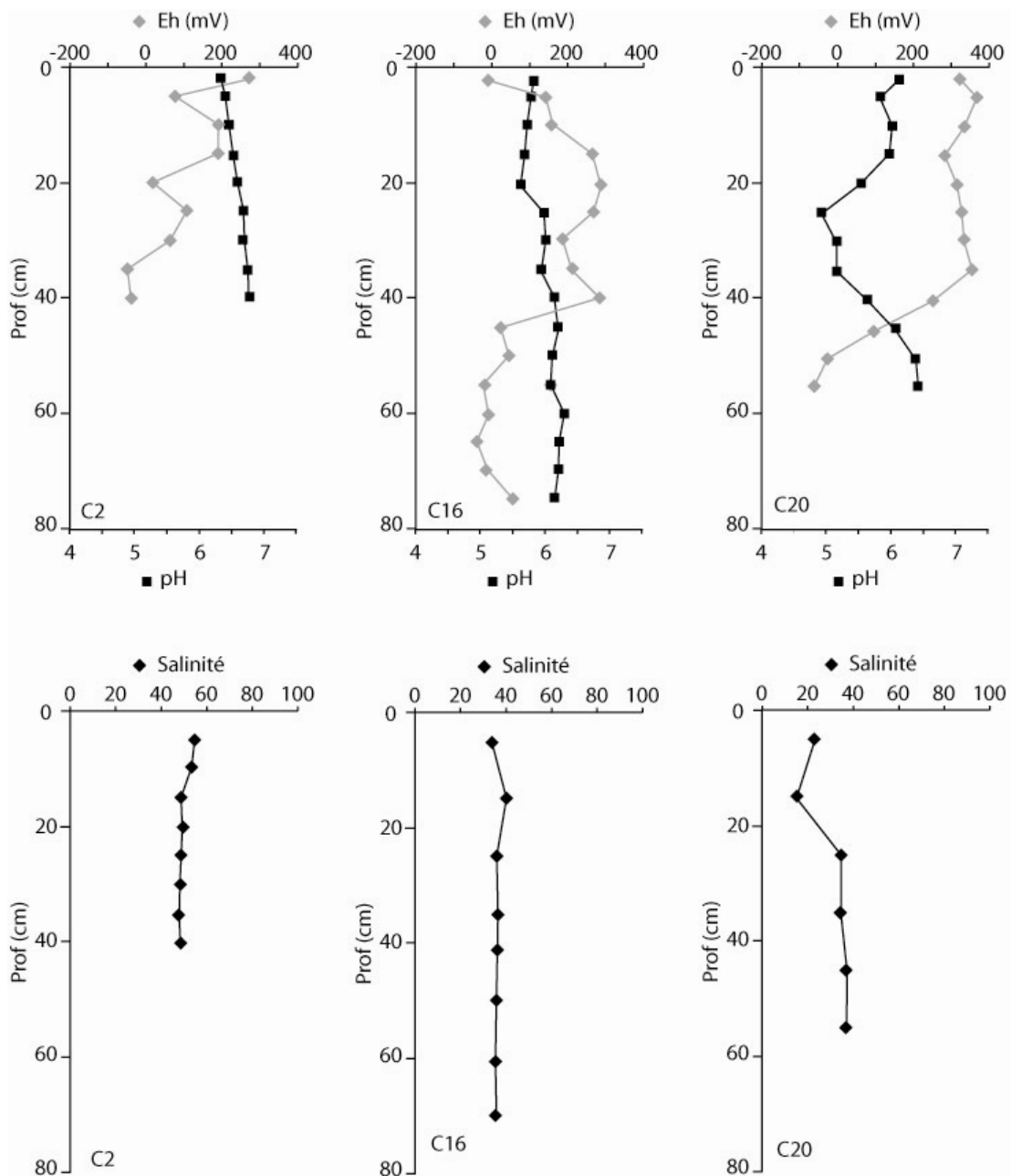


Fig. 6 : Evolution verticale des paramètres physico-chimiques (Eh et pH) et de la salinité dans les différentes carottes prélevées sous *Bruguiera*.

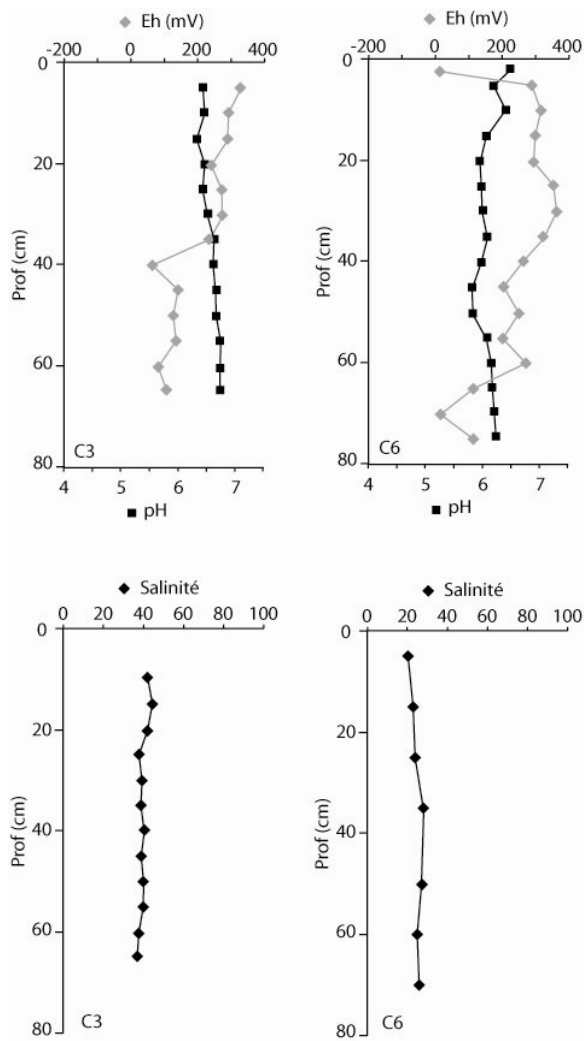


Fig. 7 : Evolution verticale des paramètres physico-chimiques (Eh et pH) et de la salinité dans les différentes carottes prélevées sous Lumnitzera.

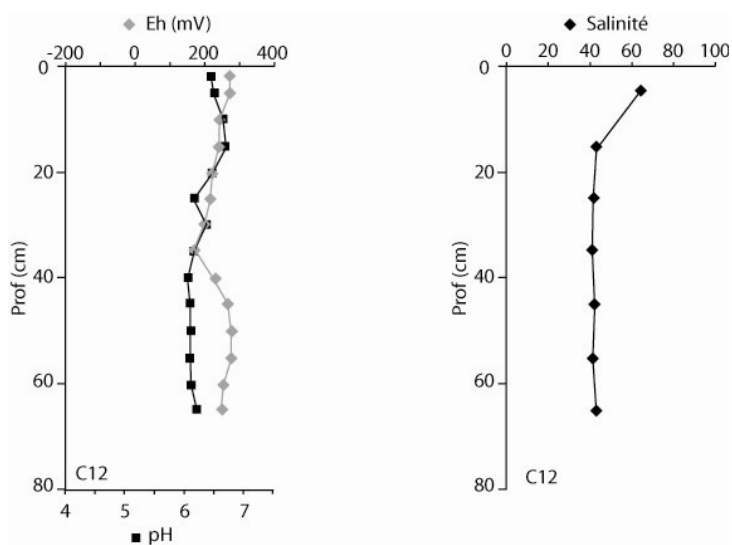


Fig. 8 : Evolution verticale des paramètres physico-chimiques (Eh et pH) et de la salinité dans la carotte prélevée sous Ceriops.

5 Synthèse

Tout d'abord, cette étude souligne le fait que la zonation des mangroves est le résultat d'une combinaison de paramètres liés à la nature des eaux les drainant ainsi qu'à la fréquence et la durée d'immersion par ces eaux. Ces paramètres sont notamment l'élévation de la zone, le positionnement par rapport aux apports d'eaux douces continentales et aux apports d'eaux lagunaires, la salinité du substrat, la texture du substrat, etc. D'autre part, cette étude a confirmé que la géochimie des sédiments est fortement influencée par le palétuvier.

Rhizophora est le genre le mieux adapté à l'immersion et aux sols gorgés d'eau. Ce genre peut résister sans souffrir à l'anoxie. Il prospère avec une salinité voisine de celle de l'eau de mer et ne supportent pas les salinités trop élevées. Ainsi, il se développe principalement dans des zones quotidiennement balayées par les marées, dont les salinités sont rendues homogènes par le brassage des eaux. Ce genre joue volontiers un rôle pionnier sur les nouveaux atterrissements où le milieu est assez calme pour permettre la prise des plantules. Ils peuvent se développer sur de la vase, du sable et même sur d'anciens récifs. Le genre *Bruguiera* ne supporte pas la sursalure et est associée aux zones les moins salées de la mangrove. Le genre *Avicennia* est adapté à la situation la plus haute des mangroves. Ce genre est le mieux adapté aux fortes salinités, ce qui lui permet de vivre aux confins des tannes au prix d'une consommation d'énergie qui est incompatible avec une certaine croissance. Les *Avicennia* ne dépassent rarement le stade arbustif en Nouvelle-Calédonie. De plus, les phénomènes de transpiration qu'ils engendrent induisent une augmentation encore plus forte de la salinité du substrat. Les observations macroscopiques des carottes prélevées montrent que les *Avicennia* peuvent se développer sur des tannes hypersalées qui eux-mêmes s'étaient développés au détriment de forêts à *Rhizophora*. L'évolution d'une zone à une autre se fait en fonction des variations de pluviométrie sur la zone et des variations d'hydrocirculation. Ainsi, un tanne drainé pourra être recolonisé par les *Avicennia*. Les hydrocirculations de surface et souterraines ont un rôle prépondérant d'une part dans la zonation des mangroves et d'autre part dans les échanges entre la grande Terre et le lagon. Elles devraient faire l'objet d'études approfondies soit par l'installation de piézomètre dans les mangroves, soit en multipliant les analyses sur carotte, comme dans cette étude et en y incorporant des analyses isotopiques qui permettraient un meilleur traçage de la transition eau douce – eau salée et de sa variation saisonnière.

Les influences respectives des *Avicennia* et des *Rhizophora* sur la géochimie des sédiments sont radicalement opposés. Ces différences proviennent principalement du fait que les *Avicennia* ont la capacité de diffuser de l'oxygène depuis leur système racinaire vers le sédiment. Cette caractéristique explique le caractère suboxique à oxique observée dans la partie supérieure des carottes prélevées sous ce genre de palétuviers. Le substrat sous *Rhizophora* est, quant à lui, principalement anoxique sauf dans des zones à forte bioturbation, générée par les crabes, ou bien dans des zones de plus forte élévation topographique, position qui entraîne un dessèchement périodique du sédiment. Durant de

nombreuses années, la nature réductrice ou oxydante du sédiment a été pensée comme un facteur important de zonation des mangroves alors qu'il apparaît de plus en plus qu'elle est une conséquence de la nature du palétuvier et du développement de la mangrove. Dans le cadre d'une problématique « polluants » la différence des conditions physico-chimiques entre les 2 espèces sera considérable et conditionnera les associations entre métaux et oxy-hydroxydes ou bien métaux et sulfures, métaux sous formes dissoutes ou bien métaux sous forme solides, et par conséquent la toxicité et la disponibilité des métaux vis-à-vis des organismes vivants.

5 Références

- Baltzer, F., 1969. Les formations végétales associées au delta de la Dumbéa (Nouvelle Calédonie) et leurs indications écologiques, géomorphologiques et sédimentologiques mises en évidence par la cartographie. Cah. O.R.S.T.O.M., ser. Géol., I, I, 59-84.
- Ellison, J.C., 1998. Impacts of sediment burial on mangroves. Mar. Poll. Bull. 37, 420-426.
- Marchand, C., Baltzer, F., Lallier-Verges, E., Albéric, P., 2004. Pore water chemistry in mangrove sediments: relationship with species composition and developmental stages. (French Guiana) *Marine Geology* 208, 361-381
- Marchand, C., Albéric, P., Lallier-Vergès, E., Baltzer, F. 2006. Distribution and characteristics of dissolved organic matter in mangrove sediments pore waters along the coastline of French Guiana. *Biogeochemistry* 81, 59-75.
- McKee, K.L., Mendelssohn, I.A., Hester, M.W., 1988. Re-examination of pore water sulphide concentrations and redox potentials near the aerial roots of *Rhizophora mangle* and *Avicennia germinans*. Amer. J. Bot. 75 (9), 1352-1359.
- McKee, K.L., 1993. Soil physicochemical patterns and mangrove species distribution—reciprocal effects? J. Ecol. 81, 477-487.
- Nickerson, N.H., Thibodeau, F.R., 1985. Association between pore water sulphide and distribution of mangroves. *Biogeochemistry* 1, 183-192.
- Rabinowitz, D., 1978. Dispersal properties of mangrove propagules. *Biotropica* 10, 47-57.
- Sam, R., Ridd, P., 1998. Spatial variations of groundwater salinity in a mangrove salt-flat system, Cocoa Creek, Australia. *Mangroves Salt Marshes* 2, 121-132.
- Scholander, P.F., Van dam, L., Scholander, S.I., 1955. Gas exchange in the roots of mangrove. Am. J. Bot. 42, 92-98.
- Walsh, G.E., 1974. Mangroves, a review. In: Reimold, R.J., Queens, W.H. (Eds.), *Ecology of Halophytes*. Academic Press, pp. 51-174.

Développement méthodologique pour la cartographie des mangroves à partir d'images SPOT 5



Valérie Laurent sous la direction de P. Dumas

Décembre 2007

Université de la Nouvelle-Calédonie / US Espace IRD

Résumé

Dans le cadre du projet ZoNéCo « Mangroves 2006 », la présente étude avait pour objectif de développer une méthodologie pour cartographier les mangroves à partir des images SPOT 5.

Les méthodes classiques de classification ont été testées sur la zone de Dumbéa. Pour éviter les confusions entre la mangrove et d'autres types de formation et entre le tanne et les sols nus, les pixels situés à plus de 10 m d'altitude ou à plus de 1600 m du trait de côte ont été masqués. Au regard de la qualité des résultats obtenus et de la capacité de généralisation de la méthodologie, la classification par maximum de vraisemblance sur l'image masquée a été choisie. Les précisions globales étaient de 82 et 71 % pour les classifications par densité et par espèce respectivement.

La méthodologie a ensuite été testée sur les 2 images de la mangrove de Moindou. Les précisions globales étaient de 84 et 87 % pour la classification par densité et de 85 et 88 % pour la classification par espèce.

Malgré des précisions globales satisfaisantes sur les 2 zones d'études, les précisions de l'utilisateur pour la mangrove dense et les formations d'*Avicennia marina* restent trop faibles. La prochaine étape de l'étude s'intéressera à la classification ascendante hiérarchique pour améliorer les résultats.

Mots-clés : Mangrove, Nouvelle-Calédonie, classification, SPOT 5.

Abstract

In the framework of the ZoNéCo project "Mangroves 2006", this study aimed at developing a methodology to map mangroves using SPOT 5 images.

Classical classification methods have first been tested over the Dumbéa area. To avoid confusions between mangroves and other vegetation and between tannes and bare soils, the pixels situated higher than 10 m and further than 1600 m from the coast line were masked. Regarding to the quality of the results and to the generalization capacity of the methodology, the maximum likelihood classification over the masked image was chosen. The overall accuracies were 82 and 71 % for density and species classifications respectively.

The methodology was then tested on the 2 images on the Moindou mangrove. The overall accuracies were 84 et 87 % for the density classification and 85 and 88 % for the species classification.

Despite satisfying overall accuracies for the 2 study areas, the user's accuracy for the dense mangrove and *Avicennia marina* classes are too low. Further research will investigate the possibilities of hierarchical ascending classification to improve this.

Keywords: Mangrove, New-Caledonia, classification, SPOT 5.

Sommaire

1	Introduction	71
2	Etude bibliographique	72
2.1	Typologie des mangroves et schéma de classification.....	72
2.2	Préparation de la classification	72
2.2.1	Pour améliorer la visualisation et faciliter la digitalisation des zones d'entraînement ...	73
2.2.2	Amélioration spatiale ou spectrale	75
2.2.3	Utilisation d'informations contextuelles	76
2.3	Méthodes de classification	77
2.3.1	Classification non supervisée	77
2.3.2	Classification supervisée	78
2.3.3	Classification hybride maximum de vraisemblance - approche objet.....	80
2.4	Traitements post-classification.....	80
2.4.1	Utilisation d'informations contextuelles	80
2.4.2	Méthode de la règle de Bayes	81
2.5	Méthodes de validation de la classification	81
2.6	Conclusion sur l'étude bibliographique	82
2.6.1	Synthèse des méthodes de classification rencontrées dans la littérature	82
2.6.2	Implications pour l'élaboration de la méthodologie.....	83
3	Matériels.....	88
3.1	Zones d'étude	88
3.2	Images SPOT 5	88
3.2.1	Caractéristiques des images SPOT 5.....	88
3.2.2	Préparation des images.....	89
3.3	Signatures spectrales de terrain.....	90
3.3.1	Protocole	90
3.3.2	Les signatures obtenues.....	90
3.4	Données annexes.....	94
3.4.1	Trait de côte et courbes de niveau	94
3.4.2	Photographies aériennes.....	94
3.4.3	Cartographie des mangroves de Dumbéa et Moindou réalisées à partir de photographies aériennes	94
4	Tests sur la zone de Dumbéa	94
4.1	Méthodologie	94
4.1.1	Schémas de classification.....	94
4.1.2	Préparation de la classification.....	96
4.1.3	Classification.....	97
4.1.4	Traitement post-classification par filtrage.....	98
4.1.5	Validation.....	98
4.2	Résultats	99
4.2.1	Classification non supervisée de l'image entière	99
4.2.2	Classification par maximum de vraisemblance de l'image entière	99

4.2.3	Classification supervisée de l'image masquée	104
4.2.4	Filtrage de la classification par maximum de vraisemblance de l'image masquée	108
4.2.5	Classification par maximum de vraisemblance de l'image fusionnée masquée	110
4.2.6	Classification par maximum de vraisemblance de l'image à 5 canaux masquée	110
4.3	Discussion	110
4.4	Conclusion sur les tests de la zone de Dumbéa	111
5	Application à la zone de Moindou	113
5.1	Méthodologie	113
5.2	Résultats	113
5.3	Discussion	117
5.4	Conclusion	118
6	Discussion	119
6.1	Discussion des résultats obtenus sur les zones de Dumbéa et Moindou	119
6.2	Discussion sur la capacité de généralisation de la méthodologie à l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie	119
7	Conclusion	121
8	Références	122
9	Annexes	126
9.1	Typologies des mangroves de Nouvelle-Calédonie utilisées par la cartographie à partir des photographies aériennes	127
9.2	Emprise des images SPOT	129
9.3	Métadonnées des images SPOT	130
9.4	Classifications non supervisées à 50 classes de la zone de Dumbéa	134
9.5	Matrices de confusion en pourcentages et indicateurs de précision des classifications de la zone de Dumbéa	136
9.5.1	Classification par maximum de vraisemblance sur l'image entière	136
9.5.2	Classification supervisée sur l'image masquée	138
9.5.3	Filtrage de la classification par maximum de vraisemblance de l'image masquée	144
9.5.4	Classification par maximum de vraisemblance sur l'image fusionnée masquée	145
9.5.5	Classification par maximum de vraisemblance sur l'image à 5 canaux masquée	146
9.6	Matrices de confusion en pourcentages et indicateurs de précision des classifications de la zone de Moindou	147

Introduction

Les mangroves représentent un habitat côtier important dans la zone intertropicale du globe : leur surface est évaluée entre 12 et 20 millions d'hectares (FAO 2003) et elles présentent un grand intérêt social, économique et environnemental (Blasco et al. 1996; Dahdouh-Guebas 2002; Duke et al. Date inconnue). Les mangroves produisent du bois pour la construction et pour la cuisine, constituent une réserve de chasse et de pêche pour les populations locales, ont une valeur patrimoniale importante pour les habitants et les touristes, ralentissent l'érosion de la côte et constituent un habitat important pour les poissons et autres animaux marins. Cependant, l'extension des activités humaines (villages, aquaculture, pollution) entraîne une disparition des zones de mangroves au rythme de 1 à 2 % par an (Duke et al. Date inconnue). C'est pourquoi il est nécessaire de s'orienter vers une gestion durable de ces espaces. La première étape est de faire un état des lieux des mangroves pour pouvoir prendre des mesures de gestion. Il faudra ensuite suivre l'évolution des mangroves en relation avec les mesures appliquées. Comme le souligne Dahdouh-Guebas (2002), la télédétection et les systèmes d'information géographiques sont des outils très intéressants pour effectuer le suivi des mangroves.

Dans cette perspective, une cartographie des mangroves de Nouvelle-Calédonie à la fois à partir de photographies aériennes et d'images satellites a été entreprise dans le cadre de l'Opération 2006 du programme ZoNéCo. La présente étude s'attache à étudier la possibilité de cartographier les mangroves à partir des images SPOT 5 qui couvrent l'ensemble du territoire. Leur assez fine résolution spatiale (10 m) et leur domaine spectral qui inclue le proche et le moyen infrarouge, canaux importants pour la distinction de la végétation font des images SPOT un support intéressant pour la cartographie des mangroves (Dahdouh-Guebas 2002). De plus leur coût raisonnable permet d'envisager leur utilisation pour le suivi de l'évolution des mangroves. L'objectif est donc de développer une méthodologie pour la classification des mangroves de Nouvelle-Calédonie à partir des images SPOT 5.

Compte tenu de la longueur des côtes calédoniennes, il a été choisi de développer la méthodologie sur une zone d'étude (mangrove de Dumbéa). La méthode a ensuite été testée sur une zone test (mangrove de Moindou). Tout au long de l'étude, nous avons gardé à l'esprit que la méthodologie devait être extrapolable à l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie et n'avons par conséquent utilisé que des données exogènes existant pour tout le territoire.

L'élaboration de la méthodologie s'est appuyée sur la littérature existante dont la synthèse est présentée dans la partie 2. Les matériels de l'étude sont décrits dans la partie 3. Les parties 4 et 5 présentent respectivement les méthodes testées et les résultats obtenus. La partie 6 discute les résultats obtenus au regard des objectifs de l'étude et la partie 7 présente les conclusions. La liste des références et les annexes se trouvent dans les parties 8 et 9.

Etude bibliographique

Dans le cadre du projet, l'étude bibliographique a d'abord porté sur la typologie à utiliser pour la classification des mangroves de Nouvelle-Calédonie (paragraphe 0). Les processus de classification ont fait l'objet d'une recherche approfondie pour les 3 phases : préparation de la classification (paragraphe 0), classification proprement dite (paragraphe 0) et traitements post-classification (paragraphe 0). Les indicateurs permettant d'évaluer et de comparer les classifications obtenues sont ensuite présentés (paragraphe 0). Finalement, la conclusion sur l'étude bibliographique synthétise les faits marquants et dresse les lignes directrices pour l'élaboration de la méthodologie de classification des mangroves dans le cadre de l'étude (paragraphe 0).

Typologie des mangroves et schéma de classification

Avant de parler des typologies de mangroves, il est nécessaire de savoir ce que l'on entend par mangrove. Il existe en effet différentes définitions de la mangrove, selon les disciplines et les intérêts scientifiques (Cormier-Salem 1999), mais aussi selon les pays (FAO 2003). Dans le cadre du programme ZoNéCo pour la cartographie des mangroves, la zone de « mangrove » inclut la forêt de palétuviers et les tannes, zones de terre nue ou herbeuse recouvertes par l'eau de mer lors des marées exceptionnelles et qui présentent une forte concentration en sel.

Dans le cadre de la cartographie des mangroves à partir des photographies aériennes, Virly (2007) a effectué une synthèse bibliographique sur les typologies des mangroves existantes et en a élaboré 3 pour les mangroves de Nouvelle-Calédonie. La typologie 1 est une classification botanique simple, tandis que la typologie 2 est plus détaillée. La typologie 3 intègre des éléments structuraux à la typologie 1. Les 3 typologies sont présentées en Annexe 0.

De plus, il est important de noter que toute classification des formations de mangroves doit également tenir compte des autres types d'occupation des terres présents sur l'image satellite car leur omission dégraderait la qualité de la classification obtenue (Gao et al. 2004). En Nouvelle-Calédonie, les autres classes à prendre en compte dans le schéma de classification sont les suivantes : savane, forêt sclérophylle, forêt humide dense, maquis minier, le lagon et les récifs (Dumas 2004).

Préparation de la classification

Avant de traiter l'image pour la classifier, il faut la géorectifier et lui appliquer une correction radiométrique. En plus de ces corrections « de routine », il faut parfois effectuer quelques opérations pour préparer la classification. Par exemple en diminuant le bruit présent dans l'image, en utilisant des indices ou une analyse en composante principale (ACP) pour améliorer la visualisation de l'image et donc la qualité de la délimitation des zones d'entraînement pour la classification supervisée (Rasolofoharinoro et al. 1998). Si la résolution de l'image est trop faible, il est possible d'utiliser l'index de pureté du pixel pour trouver des pixels purs de chaque classe pour entraîner la classification (Hirano et al. 2003). De plus, tous les néo-canaux produits pendant la préparation peuvent être utilisés comme des canaux spectraux lors de la classification supervisée (Thollot et al. 1990) ou non (Murray et al. 2003). Un exemple est donné par Kwassi et al. (2005) qui utilisèrent uniquement des néo-canaux pour réaliser leur classification par maximum de vraisemblance.

**Pour améliorer la visualisation et faciliter la digitalisation des zones
d'entraînement**

Utilisation d'indices

Meza Diaz et Blackburn (2003) ont réalisé une synthèse bibliographique sur les néo-canaux existant pour la végétation et les ont appliqués au cas des mangroves. Le Tableau 1 récapitule les différents indices de végétation.

Tableau 1 : Les indices de végétation et leur formule (NIR = proche infrarouge, R = rouge, L = facteur d'ajustement du sol, a et b = ordonnée à l'origine et pente de la ligne de sol, i = numéro du canal, λ_i = longueur d'onde au centre du canal, ρ' = dérivée première de la réflectance et ρ'' = dérivée seconde de la réflectance).

Nom	Abréviation	Formule	Référence
Ratio vegetation index	RVI	$RVI = \frac{NIR}{R}$	(Jordan 1969)
Normalized difference vegetation index	NDVI	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	(Rouse et al. 1973)
Perpendicular vegetation index	PVI	$PVI = \frac{NIR - aR - b}{\sqrt{1 + a^2}}$	(Richardson et Weigand 1977)
Difference vegetation index	DVI	$DVI = NIR - R$	(Tucker 1979)
Soil adjusted vegetation index	SAVI	$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \cdot (1 + L)$	(Huete 1988)
Transformed soil adjusted vegetation index	TSAVI	$TSAVI = \frac{a(NIR - aR - b)}{R + aNIR - ab}$	(Baret et al. 1989)
Soil adjusted vegetation ratio index	SAVI ₂	$SAVI_2 = \frac{NIR}{R + \frac{b}{a}}$	(Major et al. 1990)
First-order derivative green vegetation index derived using local baseline	1DL_DGVI	$1DL_DGVI = \sum_{i=1}^n \rho'(\lambda_i) - \rho'(\lambda_1) \Delta \lambda_i$	(Elvidge et Chen 1995)
First-order derivative green vegetation index derived using zero baseline	1DL_DGVI	$1DZ_DGVI = \sum_{i=1}^n \rho'(\lambda_i) \Delta \lambda_i$	(Elvidge et Chen 1995)
Second-order derivative green vegetation index derived using zero baseline	2DZ_DGVI	$2DZ_DVGI = \sum_{i=1}^n \rho''(\lambda_i) \Delta \lambda_i$	(Elvidge et Chen 1995)

Rasolofoharinoro et al. (1998) ont utilisé le NDVI et l'indice de brillance (brightness index BI) $BI = \sqrt{NIR^2 + R^2}$ pour constituer une composition colorée améliorant la visualisation de leur image SPOT. Le masque de la zone intertidale et les zones d'entraînement furent ensuite digitalisés sur cette composition. Ils constatèrent que le NDVI discriminait bien les formations végétales denses, l'eau et les tannes tandis que le BI discriminait les sols nus de la mangrove. Kwassi et al. (2005) ont utilisé l'indice pigmentaire $IP = \frac{R}{NIR}$ en tant que néo-canal dans leur classification par maximum de vraisemblance.

Transformation de Tasseled Cap

Kwassi et al. (2005) se sont servi des trois variables issues de la transformation de Tasseled Cap en une composition colorée pour une première interprétation visuelle de l'image. L'une de ces trois variables est l'indice d'humidité que Kwassi et al. ont utilisé comme canal dans leur classification par maximum de vraisemblance.

Analyse en composantes principales

Thollot et al. (1990) ont préparé leur image SPOT pour la classification en masquant les zones qui ne contenaient pas de mangrove. Ils ont ensuite réalisé une analyse en composantes principales (ACP) pour obtenir une meilleure visualisation de l'image et mieux choisir les zones d'entraînement de la classification par maximum de vraisemblance.

Suivant la méthodologie de Gray et al. (1990), Green et al. (1998) ont effectué une ACP sur les (néo-)canaux 1, 2, 3, 2/3 et 3/1 de SPOT et 3, 4, 5, 3/5 et 5/4 de Landsat. Pour les deux capteurs, les trois canaux de l'ACP (1, 2 et 4 pour les deux capteurs) résumant la majorité de l'information spectrale de l'image furent réunis dans une image composite sur laquelle une classification par maximum de vraisemblance a été appliquée.

Index de pureté du pixel

L'index de pureté du pixel (IPP) est un moyen de trouver des pixels spectralement purs dans une image multi ou hyperspectrale. Les pixels ayant un IPP élevé sont considérés comme purs et utilisés comme des zones d'entraînement pour la classification supervisée (Hirano et al. 2003).

Classification non supervisée

Les techniques de classification non supervisée permettent de regrouper les pixels ayant des signatures spectrales similaires. Elles ont été utilisées par quelques auteurs comme outil d'aide à la délimitation des zones d'entraînement pour la classification supervisée (Chauvaud et al. 1998).

Distance de Bhattacharyya

La distance de Bhattacharyya est un coefficient statistique qui mesure la divergence. Pour deux lois de probabilités discrètes p et q définies sur le même domaine X , la distance de Bhattacharyya (DB) est définie comme suit : $DB(p, q) = \sum_{x \in X} \sqrt{p(x)q(x)}$ (Wikipedia 2007). Cette distance peut servir comme

un indicateur de la performance que l'on peut attendre de la classification. Plus la distance de Bhattacharyya est élevée, meilleure sera la classification obtenue. Wang et al. (2004a) ont utilisé la distance de Bhattacharyya pour mesurer la séparabilité entre leurs classes pour la classification par maximum de vraisemblance. Ils ont finalement obtenu une précision globale de 89% pour leur classification. Les précisions du producteur et de l'utilisateur dépassaient toutes les deux 70 % pour les 3 espèces de palétuvier.

Amélioration spatiale ou spectrale

Réduction du bruit : fraction minimale de bruit

Dans le cas d'une image hyperspectrale ayant de nombreux canaux, il est nécessaire de réduire le bruit. Ceci peut être fait en utilisant la méthode de la fraction minimale de bruit (FMB) (Hirano et al. 2003).

Filtre 3 x 3 d'amélioration des bordures

Dans leur synthèse bibliographique, Green et al. (1998) rapportent que Woodfine (1991) a utilisé un filtre 3 x 3 d'amélioration des bordures avant de réaliser une classification non supervisée. Ce filtre est particulièrement intéressant pour les pixels mixés de la bordure de la zone de mangrove dont la signature spectrale devient plus proche ou plus éloignée de celle des mangroves.

Transformation intensité - teinte - saturation

Dans leur synthèse bibliographique, Green et al. (1998) rapportent que Vits et Tracks (1995) ont amélioré la couleur de leur image SPOT par une transformation intensité - teinte - saturation (ITS). Ils ont ensuite réalisé une classification non supervisée sur la nouvelle image.

Green et al. (1998) utilisèrent aussi la méthode de transformation ITS mais pour fusionner leur image Landsat TM avec une SPOT et ainsi obtenir une image avec les données spectrales de Landsat et la résolution spatiale de SPOT. Cette méthode ne permet d'utiliser que 3 canaux Landsat lors de la transformation. C'est sur l'image obtenue que Green et al. ont testé différentes méthodes de classification.

Analyse en composantes principales

Toujours pour obtenir une image avec les données spectrales de Landsat et la résolution spatiale de SPOT, Green et al. (1998) ont également utilisé une ACP. Lors de la transformation inverse, ils ont substitué le canal panchromatique de SPOT au premier canal issu de l'ACP. Cette méthode permet de travailler avec l'ensemble des canaux Landsat et d'utiliser toute l'information spectrale disponible.

Chauvaud et al. (1998) ont aussi réalisé une ACP sur leurs 3 canaux visibles. Ils ont appliqué leur méthodologie de classification sur le résultat de l'ACP.

Utilisation d'informations contextuelles

Les informations contextuelles sont les informations qui prennent en compte l'environnement spatial (contexte) des pixels. Elles permettent d'intégrer dans le processus de classification l'idée que la connaissance qu'un pixel appartient à une classe augmente la probabilité que ses voisins appartiennent à la même classe (Stuckens et al. 2000).

D'après Kittler et Föglein (1984), les informations contextuelles peuvent être intégrées aux trois stades du processus de classification : préparation, classification proprement dite et dans les traitements post-classification. Dans le cadre de la préparation de la classification, 2 méthodes ont été rencontrées dans la littérature : l'utilisation de la texture et la segmentation de l'image.

Utilisation de la texture

La texture est l'effet visuel produit par la variation spatiale du ton des pixels sur de petites zones. En pratique, elle est calculée pour le voisinage de chaque pixel, voisinage dont la taille peut varier. 9 mesures de la texture ont été proposées. Comme le temps de calcul augmente avec l'ordre, les textures d'ordre 1 et 2 sont les plus couramment utilisées (Wang et al. 2004b).

Wang et al. (2004b) ont utilisé la haute résolution spatiale des images IKONOS et QuickBird pour inclure des informations texturales dans le processus de classification de la mangrove de Punta Galeta, au Panama. Ils ont calculé les textures d'ordre 1 et 2 sur la bande panchromatique de leurs images. La texture de premier ordre a été calculée par la variance locale de la réflectance sur des voisinages de tailles variant de 3 x 3 à 21 x 21 pixels). La texture de second ordre a été représentée par 3 statistiques de texture parmi les 14 existantes : contraste, corrélation et entropie. Les canaux de texture ainsi calculés ont été utilisés comme bandes supplémentaires dans une classification supervisée par maximum de vraisemblance.

Les résultats obtenus ont été comparés grâce au coefficient Kappa. Ce dernier indique le pourcentage d'erreurs évitées par la classification par rapport à une classification aléatoire. Pour la texture de premier ordre, les résultats étaient différents pour les 2 images. Pour IKONOS, l'inclusion de l'information texturale a amélioré le coefficient Kappa de la classification (0,709 à 0,748 contre 0,7 pour l'image multispectrale sans texture) quel que soit la taille du voisinage utilisé pour le calcul de la variance locale. Pour l'image QuickBird, seule l'utilisation de la texture de premier ordre calculée avec un voisinage de 21 x 21 pixels a amélioré les résultats de la classification (0,72 contre 0,67 pour l'image multispectrale sans texture). Pour les tailles de voisinage testées, l'utilisation des statistiques de texture de second ordre n'a pas permis d'améliorer les résultats de la classification (moins de 0,57 contre 0,7 et 0,67 pour IKONOS et QuickBird multispectrale sans texture respectivement).

Segmentation

La segmentation est la première phase de la classification par approche objet. Elle consiste à regrouper spatialement les pixels « objets » spectralement homogènes. Dans le logiciel eCognition, le

regroupement se fait en plusieurs étapes (Benz et al. 2004). L'image est d'abord segmentée en petits groupes de pixels appelés « segments » ou « régions ». Les segments sont ensuite fusionnés en « objets primitifs » de plus grande taille, et les objets primitifs peuvent être fusionnés, formant de plus grands objets primitifs. Ceci continue tant que les critères d'hétérogénéité fixés par l'opérateur sont respectés. Les objets finaux sont les « objets d'intérêt » qui sont alors classifiés en utilisant l'une des méthodes de classification décrites au paragraphe 0.

La segmentation, telle que mise en œuvre dans eCognition aboutit à un réseau hiérarchisé d'objets dans lequel chaque objet connaît ses sous-objets et super-objets. Chaque niveau correspond à une échelle d'observation, ce qui permet d'observer des objets de différentes tailles (Benz et al. 2004).

La segmentation peut également être réalisée sur des néo-canaux en plus des données spectrales. Par exemple, Wang et al. (2004b) ont utilisé un canal d'homogénéité spectrale comme critère pour la segmentation de leurs images IKONOS et QuickBird. Après classification des objets dans eCognition (méthode non précisée), ils ont obtenu des précisions globales de 73 et 74 % pour les deux images respectivement. D'autre part, Wang et al. (2004a) ont remarqué que la mise en pratique de la classification par approche objet requiert la définition d'un seuil qui détermine la taille des objets créés lors de la segmentation. Comme il prend beaucoup de temps de tester toutes les valeurs possibles du seuil, en pratique, le choix du seuil est fait de manière subjective par l'opérateur. Pour s'affranchir de ce problème, les auteurs ont développé une méthode objective pour déterminer le seuil optimal.

Méthodes de classification

De nombreuses méthodes ont été utilisées pour classifier les images de télédétection. De nombreux auteurs ont utilisé des photographies aériennes (Calzadilla Pérez et al. 2002; Fromard et al. 2004; Virly 2007). Cependant, les recherches s'orientent de plus en plus vers l'utilisation d'images satellites multispectrales. Certains commencent également à utiliser des données radar (Held et al. 2003; Souza Filho et Paradella 2002). Cependant, l'étude bibliographique s'est concentrée sur les méthodes utilisant des données multispectrales, similaires aux images SPOT 5 disponibles pour l'étude.

Les méthodes de classification peuvent être réparties en deux catégories : supervisées (paragraphe 0) et non supervisées (paragraphe 0). L'étude bibliographique a également rencontré une approche de classification hybride utilisant d'abord le maximum de vraisemblance puis l'approche objet (paragraphe 0). Seules les méthodes utilisées dans le cadre de classifications incluant des zones de mangroves sont présentées ici. Quelques références sont données pour chaque méthode ainsi que les précisions des classifications obtenues lorsque l'information était disponible.

Classification non supervisée

Dans leur synthèse bibliographique sur les méthodes de traitement d'images pour la cartographie des mangroves, Green et al. (1998) avaient recensé 4 études ayant utilisé la classification non supervisée. Woodfine (1991) n'était pas parvenu à distinguer les mangroves des autres formations forestières de façon satisfaisante sur son image Landsat TM. Chaudury (1990) put distinguer 4 classes selon l'espèce dominante de la mangrove en utilisant une image SPOT XS. Loo (1992) et Vits et Tacks (1995) réussirent à classifier des images SPOT XS et Landsat TM en respectivement 3 (dense, clairsemé, sans végétation) et 4 (de bordure, mélangée, buissonnante et exploitée) classes structurales selon la densité et la hauteur des arbres. Vits et Tacks (1995) obtinrent une précision de 95 % avec SPOT XS et 97 %

avec Landsat TM. L'accès à ces 4 publications n'ayant pas été possible, on ne sait pas quelle méthode de classification non supervisée a été utilisée pour chaque étude. Il pourrait par exemple s'agir des méthodes « IsoData » (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) ou « K-Means » (Tou et Gonzalez 1974) fournies par exemple dans le logiciel de traitement d'images ENVI. La méthode IsoData a été utilisée par Murray et al. (2003). Ils n'ont malheureusement pas indiqué la précision atteinte par leur classification.

Classification supervisée

La classification supervisée est très largement employée pour classer les formations de mangroves. Des photographies aériennes ou des données de terrain sont usuellement utilisées pour définir les zones d'entraînement ainsi que pour évaluer la précision de la classification obtenue. Les différentes méthodes rencontrées dans la littérature pour la classification des mangroves sont le maximum de vraisemblance, la distance minimale, la distance de Mahalanobis, les règles de décision, l'angle spectral, les k plus proches voisins, l'itération des modes conditionnels et la classification floue. D'autres méthodes sont disponibles dans les logiciels de traitement d'images (ENVI, ERDAS) mais n'ont pas fait l'objet de publication dans le cadre de la classification des mangroves à ma connaissance. Il est donc intéressant de les tester également dans le cadre du projet ZoNéCo. Ces méthodes sont brièvement présentées dans le paragraphe 0.

Maximum de vraisemblance

Le maximum de vraisemblance est fréquemment utilisé pour classer les mangroves. Wang et al. (2004a; 2004b) ont obtenu des précisions variant de 72 à 89 % pour la classification des mangroves selon 3 espèces dominantes à partir d'images IKONOS et QuickBird. Leurs travaux ont montré que la prise en compte du canal panchromatique (P) augmente la précision de la classification (Tableau 3). Gao (1999) a également obtenu de meilleurs résultats en utilisant le canal P en plus des canaux multispectraux (XS) sur la classification d'une image SPOT (Tableau 3). Par la suite, Gao et al. (2004) appliquèrent un filtre au résultat de la classification par maximum de vraisemblance d'une image SPOT. Ils obtinrent une précision globale de 75 %, avec des précisions de 46,7 et 68,3 % pour l'utilisateur pour les deux classes de mangroves (chétive et luxuriante).

Distance minimale

Gao (1999) a essayé à la fois le maximum de vraisemblance et la distance minimale. Pour sa zone d'étude à Auckland (Nouvelle-Zélande), cette dernière produisait systématiquement de moins bons résultats et a donc été abandonnée. Saito et al. (2003) ont aussi constaté des confusions entre les classes de mangroves en utilisant la méthode de la distance minimale. Cependant, Rasolofoharino et al. (1998) avaient observé que la distance minimale distinguait bien les forêts denses et matures, les mangroves sénescents et les zones inondables tandis que le maximum de vraisemblance permettait de discriminer les tannes et les différents stades de succession de la mangrove. Pour eux, les deux méthodes sont complémentaires.

Distance de Mahalanobis

Saito et al. (2003) classifièrent leurs images ASTER et SPOT en utilisant la distance de Mahalanobis. Ils jugèrent les résultats obtenus pour les zones côtières satisfaisants mais observèrent des confusions entre les classes continentales.

Règles de décision

Gao et al. (2004) ont réalisé une classification utilisant des règles de décision. L'avantage de cette méthode est qu'ils ont pu inclure des données exogènes telles que le trait de côte dans le processus. Pour chaque classe, ils ont défini des seuils maximum et minimum pour la réflectance du pixel et spécifié la valeur de la couche « trait de côte », formant ainsi un jeu de règles de décision par classe. Chaque pixel a ensuite été confronté aux jeux de règles et classifié.

De même, Thollot et al. (1990) fixèrent des seuils de NDVI pour répartir la mangrove en 3 classes de densité. Ils ne donnent malheureusement aucune indication sur la précision de la classification obtenue

Angle spectral

Dans la méthode de l'angle spectral, chaque pixel est considéré comme un vecteur dans un espace dont la dimensionnalité est égal au nombre de canaux de l'image. La coordonnée du vecteur dans chaque dimension est la réflectance du pixel dans le canal correspondant. Les signatures spectrales de la librairie sont également représentées par des vecteurs. La similarité d'un pixel à une classe est mesurée par l'angle entre le vecteur du pixel et le vecteur de la signature spectrale de la classe, appelé angle spectral.

Cette méthode a été mise en œuvre par Hirano et al. (2003) sur une image hyperspectrale AVIRIS pour le parc national des Everglades en Floride. Ils ont réussi à classifier la mangrove selon 3 espèces dominantes et 2 hauteurs (arboré et arbustif) avec des précisions du producteur variant de 73,5 à 95,7 % pour la strate arborée et de 40 à 48 % pour la strate arbustive, selon l'espèce dominante.

K plus proches voisins

La classification par la méthode des k plus proches voisins (k-PPV) considère les signatures de tous les pixels des zones d'entraînement. La distance spectrale de chaque pixel aux pixels d'entraînement est calculée et les k plus proches voisins sont identifiés. Une règle de décision permet ensuite de décider dans quelle classe mettre le pixel (Hardin et Thomson 1992). La distance est le plus souvent évaluée par la distance euclidienne, mais Rakotoniaina et al. (2006) ont également utilisé la distance de Mahalanobis. La méthode k-PPV est gourmande en temps de calcul pour les classifications au niveau du pixel. Wang et al. (2004a) ont appliqué la méthode k-PPV pour classifier les objets issus de la segmentation de leur image IKONOS. Ils obtinrent une précision globale de 80 %.

Itération des modes conditionnels

Une seule publication rapporte une étude sur la classification de mangroves en utilisant la méthode de l'itération des modes conditionnels (IMC) : (Rakotoniaina et al. 2006). Cette méthode est similaire à

une classification par maximum de vraisemblance qui intégrerait des informations sur le voisinage des pixels en plus des informations spectrales. Une description de l'IMC peut être trouvée dans (Keuchel et al. 2003). Rakotoniaina et al ont obtenu une précision globale de 80 % pour la classification de 4 espèces de mangrove et 2 types de tanne (et classes annexes) sur leur image Landsat ETM +.

Classification floue

La classification floue donne la possibilité du pixel d'appartenir à chaque classe. La comparaison des possibilités d'appartenance permet de définir la classe à laquelle le pixel a le plus de chances d'appartenir et donne une mesure de la fiabilité de la classification de chaque pixel (Benz et al. 2004). Cette méthode est mise en œuvre dans le logiciel eCognition et est alors appliquée aux objets issus de la segmentation.

Autres méthodes

Certaines méthodes fournies dans les logiciels de traitement d'images n'ont pas été citées dans la littérature concernant les méthodes de classification des mangroves : méthode du parallélogramme, encodage binaire, réseau de neurones et « feature space ».

Classification hybride maximum de vraisemblance - approche objet

Suite à leurs tests de classification des mangroves de Punta Galeta au Panama, Wang et al. (2004a) ont estimé qu'il serait approprié de combiner des méthodes au niveau du pixel et au niveau des objets. Ils développèrent une méthodologie combinant la classification par maximum de vraisemblance et l'approche objet. Une classification par maximum de vraisemblance est d'abord réalisée en utilisant toutes les classes souhaitées. Les classes présentant un fort taux de confusion sont ensuite fusionnées pour obtenir des classes plus vastes, mais bien séparables spectralement. Ces nouvelles classes mixées sont ensuite spatialement isolées par des masques et soumises à la classification par approche objet. Wang et al. ont obtenu une classification de précision globale 91 % et des précisions du producteur et de l'utilisateur de plus de 74 % pour les 3 espèces de palétuviers présentes dans leur zone d'étude.

Traitements post-classification

Utilisation d'informations contextuelles

Filtrage

Certains auteurs (Saito et al. 2003; Thollot et al. 1990) ont filtré le résultat de la classification pour éliminer les pixels isolés. Gao (1999) utilisa des filtres de majorité pour corriger les pixels de zone résidentielle faussement classifiés en mangrove : un filtre de 5 x 5 pour les résultats à 20 m et un de 7 x 7 pour les résultats à 10 m.

Application de règles de décision

Le trait de côte a été utilisé pour caractériser les mangroves par Gao et al. (2004) dans le cadre de la classification par règles de décision, mais il peut également être utilisé pour corriger le résultat de la classification, comme proposé par les auteurs.

Méthode de la règle de Bayes

Après avoir classifié la mangrove du cap de Talumpuk (Thaïlande) en utilisant la méthode du maximum de vraisemblance, Vaiphasa et al. (2006) ont utilisé la règle de Bayes pour affiner leur classification avec une carte de pH. La règle de Bayes est présentée ci-dessous :

$$P(B_i|A) = \frac{P(A|B_i) \cdot P(B_i)}{\sum_{i=1}^n P(A|B_i) \cdot P(B_i)}, \text{ où les } B_i \text{ sont des événements indépendants de l'espace } S \text{ tels que}$$

$$\bigcup_{i=1}^n B_i = S \text{ et } A \text{ une situation telle que } P(A) \neq 0.$$

A partir de la classification et de la carte de pH, l'algorithme utilise la règle de Bayes pour calculer la probabilité de chaque espèce de palétuvier de se trouver dans le pixel et attribue au pixel le label de l'espèce ayant la probabilité la plus élevée. Vaiphasa et al. (2006) sont ainsi parvenus à améliorer la précision globale de leur classification de 12 % (76 % pour la classification brute à 88 % après le traitement post-classification).

Méthodes de validation de la classification

Pour évaluer la précision de la classification obtenue, on peut utiliser des données de vérité terrain ou des photos aériennes (Green et al. 1998). De nombreux indicateurs ont été proposés pour l'évaluation de la précision des classifications thématiques. Liu et al. (2007) ont réalisé une synthèse bibliographique de ces indicateurs et les ont également évalués. Ils déconseillent l'utilisation des indicateurs tenant compte du hasard, les indicateurs dérivés de matrices de confusion normalisées (Congalton 1991) et les indicateurs combinant les mesures de précision du producteur et de l'utilisateur car ils posent des problèmes d'estimation et d'interprétation. Ils recommandent donc l'utilisation de la précision globale et des précisions du producteur et de l'utilisateur. Les formules de calcul de ces 3 indicateurs sont présentées dans le Tableau 2. La précision globale de la classification indique le pourcentage de pixels correctement classifiés. La précision du producteur représente le pourcentage de pixels « vérité terrain » d'une classe ayant été mis dans la bonne classe. La précision de l'utilisateur représente le pourcentage de pixels d'une classe sur la carte appartenant véritablement à cette classe sur le terrain. On notera ici qu'il n'est pas possible de comparer la précision de deux classifications ayant un nombre de classes différent ou lorsque les échantillons de validation sont de taille différente (Congalton 1991).

Tableau 2 : Indicateurs de précision de la classification calculés à partir de la matrice de confusion.

Indicateur	Formule*	Source (d'après Liu et al. 2007)
Précision globale	$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^I x_{i,i}$	(Story et Congalton 1986)
Précision du producteur pour la classe k	$\frac{x_{k,k}}{x_{k,+}}$	(Story et Congalton 1986)
Précision de l'utilisateur pour la classe k	$\frac{x_{k,k}}{x_{+,k}}$	(Story et Congalton 1986)

* 1 = nombre de lignes dans la matrice (nombre de classes de la classification + 1 s'il y a des pixels non classifiés), N = nombre d'échantillons de vérité terrain, $x_{i,j}$ = élément de la ligne i et de la colonne j de la matrice de confusion, $x_{k,+}$ = total marginal de la ligne k et $x_{+,k}$ = total marginal de la colonne k de la matrice de confusion. Remarque : pour l'application de ces formules, la ligne concernant les pixels non classifiés doit être placée en bas de la matrice de confusion.

Conclusion sur l'étude bibliographique

Synthèse des méthodes de classification rencontrées dans la littérature

Comme le montre le Tableau 3 qui récapitule les travaux de classification des mangroves, un nombre assez important de méthodes et de données satellites ont été testées. La classification supervisée par maximum de vraisemblance est la méthode la plus largement utilisée. Le résultat de la classification peut être traité pour corriger certaines confusions (Gao et al. 2004) ou simplement filtré pour éliminer les pixels isolés (Saito et al. 2003). La classification peut également être préparée. L'importance de la phase de préparation est très variable : pas de préparation ; simple masque de la zone de mangrove (Thollot et al. 1990) ; amélioration de la délimitation des zones d'entraînement par optimisation de la composition colorée (Chauvaud et al. 1998), par l'utilisation de néo-canaux (Rasolofoharino et al. 1998), par classification non supervisée (Chauvaud et al. 1998) ou par utilisation de la distance de Bhattacharyya (Wang et al. 2004a) ; ou utilisation de techniques de transformation des canaux telles que la fraction minimale de bruit (Hirano et al. 2003) et l'analyse en composantes principales (Green et al. 1998).

La majorité des auteurs ont indiqué la précision globale atteinte par leur classification. Les méthodes ayant donné les meilleurs résultats (précision globale supérieure à 90 %) sont, par ordre de précision globale décroissante :

1. Classification par maximum de vraisemblance suivie d'un filtrage (Saito et al. 2003) : précision globale de 99,6 % pour SPOT XS et 99,8 % pour ASTER
2. Transformation intensité - teinte - saturation suivie d'une classification non supervisée (Vits et Tack 1995) : précision globale de 97 % pour Landsat TM et 95 % pour SPOT XS
3. Classification par distance de Mahalanobis suivie d'un filtrage (Saito et al. 2003) : précision globale de 95 % pour SPOT XS et 88,8 % pour ASTER
4. Classification par distance minimale suivie d'un filtrage (Saito et al. 2003) : précision globale de 91,9 % pour SPOT XS et 87,5 % pour ASTER

5. Classification par méthode hybride maximum de vraisemblance - approche objet, avec utilisation de la distance de Bhattacharyya lors de la définition des zones d'entraînement (Wang et al. 2004a) : précision globale de 91 % pour des données IKONOS XS et P.
6. Intégration de néo-canaux dans l'analyse en composantes principales puis classification par maximum de vraisemblance (Green et al. 1998). Si cette méthode a produit de bons résultats sur l'image Landsat (précision globale de 90 %), la classification obtenue sur l'image SPOT n'était pas satisfaisante (précision globale de 53 %)

Cependant, tous les auteurs n'ont pas classifié la mangrove avec le même niveau de détail. La moitié des études se sont attachées à délimiter la mangrove puis à cartographier 2 à 3 structures, âges ou densités. Certains auteurs se sont intéressés à la répartition des espèces, parfois croisées à une classification de la densité des palétuviers. Dans l'ensemble, peu d'intérêt a été porté au tanne, arbustif, herbeux ou nu.

En ce qui concerne la validation des classifications, la majorité des auteurs ont utilisé la précision globale. Quelques uns fournissent également les précisions du producteur et/ou de l'utilisateur par classe. Un nombre assez important de publications utilisent le coefficient Kappa est considéré comme non fiable par Liu et al. (2007).

Implications pour l'élaboration de la méthodologie

Dans le cadre du programme ZoNéCo « Mangroves 2006 », l'objectif était de classer les mangroves calédoniennes de manière aussi détaillée que possible au regard des espèces et de la densité, tout en incluant les zones de tanne à partir des images SPOT 5 XS et P. Les schémas de classifications ont été définis en s'appuyant sur les travaux de Virly (2007) et Dumas (2004) : classification des zones de mangrove par rapport à l'espèce dominante et par rapport à la densité, en tenant compte des classes suivantes : savane, forêt sclérophylle, forêt humide dense, maquis minier, le lagon et les récifs.

Parmi les 6 méthodes les plus performantes identifiées ci-dessus, 5 ont été mises en œuvre sur des données SPOT XS. Cependant, chaque zone d'étude est particulière et il n'était par conséquent pas possible de présumer des résultats de ces méthodes en Nouvelle-Calédonie. Des méthodes de classifications aussi bien supervisées que non supervisées ont donc été testées dans le cadre de l'étude.

Pour chaque méthode testée, une matrice de confusion a été construite afin de vérifier la qualité de la classification obtenue. En accord avec Liu et al. (2007), la qualité des résultats a été évaluée en utilisant la précision globale de la classification et les précisions du producteur et de l'utilisateur pour chaque classe.

Tableau 3: Tableau récapitulatif des travaux de classification de mangroves rapportés dans la littérature.

Méthode de classification	Publication	Préparation	Post classification	Capteur	Méthode de validation	Précision de la classification*	Nombre et thème des classes « mangrove »
Classification non supervisée							
?	(Chaudhury 1990)	?	?	SPOT XS	Photos aériennes	?	4 espèces dominantes
?	(Green et al. 1998)	-	-	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	75 % (Landsat TM) 55 % (SPOT XS)	2 densités – 4 espèces dominantes
?	(Loo et al. 1992)	?	?	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	?	3 structurales
IsoData	(Murray et al. 2003)	2 quotients de canaux	-	Landsat TM	Données de terrain et photos aériennes	?	4 tailles
?	(Vits et Tack 1995)	ITS	?	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	97 % (Landsat TM) 95 % (SPOT XS)	4 structurales
?	(Woodfine 1991)	?	?	Landsat TM	Données de terrain	?	Confusion mangrove / autres forêts
Classification supervisée							
MV	(Chauvaud et al. 1998)	Masque + optimisation du stretching des bandes visibles + NS	-	Photos aériennes	Données de terrain	94 %	Mangrove / non mangrove
MV	(Chauvaud et al. 1998)	Masque + optimisation du stretching des bandes visibles + NS	-	Photos aériennes	Données de terrain	?	3 formations
MV	(Gao 1999)	-	Filtre	SPOT XS et P	Photos aériennes	77,5 et 67,5 % (XS) 80 et 80 % (XS + P) (précision pour les 2 classes)	2 structurales
MV	(Gao et al. 2004)	Masque	Filtre	SPOT XS	Photos aériennes	46,7 et 68,3 % (précision de l'utilisateur pour les 2 classes)	2 structurales

Méthode de classification	Publication	Préparation	Post classification	Capteur	Méthode de validation	Précision de la classification*	Nombre et thème des classes « mangrove »
MV	(Gao et al. 2004)	Masque	Trait de côte	SPOT XS	Photos aériennes	81,7 et 98,33 % (précision de l'utilisateur pour les 2 classes)	2 structurales
MV	(Green et al. 1998)	-	-	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	75 % (Landsat TM) 55 % (SPOT XS)	2 densités – 4 espèces dominantes

Classification supervisée (suite)

MV	(Green et al. 1998)	ITS	-	Fusion Landsat TM & SPOT XS	Données de terrain	65 %	2 densités – 4 espèces dominantes
MV	(Green et al. 1998)	ACP	-	Fusion Landsat TM & SPOT XS	Données de terrain	66 %	2 densités – 4 espèces dominantes
MV	(Green et al. 1998)	Néo-canaux + ACP	-	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	90 % (Landsat TM) 53 % (SPOT XS)	2 densités – 4 espèces dominantes
MV	(Kwassi et al. 2005)	Néo-canaux + indice d'humidité + ACP + DB	Filtre	Landsat ETM+	Données de terrain	88,7 et 89,2 % (précisions du producteur et de l'utilisateur pour la classe mangrove)	1
MV	(Rakotoniana et al. 2006)	-	-	Landsat ETM+	Données de terrain	87,4 %	4 espèces dominantes + 2 tannes
MV	(Rasolofoharino et al. 1998)	Néo-canaux (entraînement)	-	SPOT XS	Données de terrain	?	3 âges
MV	(Saito et al. 2003)	-	Filtre	SPOT XS ASTER	Données de terrain	99,6 % (SPOT XS) 96,8 % (ASTER)	2 densités + 1 inondée
MV	(Satyanarayana et al. 2001)	-	Correction manuelle	IRS-1C LISS3	Données de terrain	100 et 98 % (précisions du producteur et de l'utilisateur pour la classe mangrove)	1
MV	(Vaiphasa et al. 2006)	-	Règle de Bayes	?	Données de terrain	76 %	7 espèces dominantes
MV	(Vaiphasa et al. 2006)	-	Règle de Bayes	?	Données de terrain	88 %	7 espèces dominantes
MV	(Thollot et al. 1990)	Masque	Filtre	SPOT XS	-	?	3 espèces dominantes
MV	(Thollot et al. 1990)	Masque + ACP	Filtre	SPOT XS	-	?	3 densités – 3 espèces dominantes
MV	(Wang et al. 2004b)	-	-	IKONOS XS et P	Données de terrain	75,3 % (XS) 75,5 % (XS + P)	3 espèces dominantes

Méthode de classification	Publication	Préparation	Post classification	Capteur	Méthode de validation	Précision de la classification*	Nombre et thème des classes « mangrove »
MV	(Wang et al. 2004b)	-	-	QuickBird XS et P	Données de terrain	72,2 % (XS) 73,3 % (XS + P)	3 espèces dominantes
MV	(Wang et al. 2004b)	Texture ordre 1	-	IKONOS XS et P	Données de terrain	Kappa = 0,75	3 espèces dominantes
MV	(Wang et al. 2004b)	Texture ordre 1	-	QuickBird XS et P	Données de terrain	Kappa = 0,72	3 espèces dominantes
MV	(Wang et al. 2004b)	Texture Ordre 2	-	IKONOS XS et P	Données de terrain	Kappa = 0,57	3 espèces dominantes
MV	(Wang et al. 2004b)	Texture Ordre 2	-	QuickBird XS et P	Données de terrain	Kappa = 0,48	3 espèces dominantes
Classification supervisée (suite)							
MV	(Wang et al. 2004a)	DB (entraînement)	-	IKONOS XS et P	Données de terrain	89 % (XS + P)	3 espèces dominantes
DMi	(Rasolofoharino et al. 1998)	Néo-canaux (entraînement)	-	SPOT XS	Données de terrain	?	3 âges
DMi	(Saito et al. 2003)	-	Filtre	SPOT XS ASTER	Données de terrain	91,9 % (SPOT XS) 87,5 % (ASTER)	2 densités + 1 inondée
Dma	(Saito et al. 2003)	-	Filtre	SPOT XS ASTER	Données de terrain	95 % (SPOT XS) 88,8 % (ASTER)	2 densités + 1 inondée
AS	(Held et al. 2003)	Continuum removal + masque	-	CASI	Données de terrain	60 %	4 espèces dominantes + tanne
AS	(Hirano et al. 2003)	FMB + IPP	-	AVIRIS	Base de données sur la végétation	73 à 95 % forêt 40 à 48 % arbustes (précision du producteur)	3 espèces dominantes – 2 hauteurs
NDVI	(Green et al. 1998)	-	-	Landsat TM SPOT XS	Données de terrain	60 % (Landsat TM) 50 % (SPOT XS)	2 densités – 4 espèces dominantes
Néo-canaux	(Thollot et al. 1990)	-	-	SPOT XS	-	?	3 densités
Classification par approche contextuelle							
IMC - k-PPV (Dma)	(Rakotoniaina et al. 2006)	ACP	-	Landsat ETM+	Données de terrain	89,9 %	4 espèces dominantes + 2 tannes
IMC - k-PPV (DE)	(Rakotoniaina et al. 2006)	ACP	-	Landsat ETM+	Données de terrain	90 %	4 espèces dominantes + 2 tannes
k-PPV	(Wang et al. 2004a)	Segmentation	-	IKONOS XS et P	Données de terrain	80 %	3 espèces dominantes

Méthode de classification	Publication	Préparation	Post classification	Capteur	Méthode de validation	Précision de la classification*	Nombre et thème des classes « mangrove »
?	(Wang et al. 2004b)	Segmentation	-	IKONOS XS et P	Données de terrain	73 %	3 espèces dominantes
?	(Wang et al. 2004b)	Segmentation	-	QuickBird XS et P	Données de terrain	74 %	3 espèces dominantes
Méthode hybride maximum de vraisemblance - approche objet							
MV + AO	(Wang et al. 2004a)	DB (entraînement)	-	IKONOS XS et P	Données de terrain	91 %	3 espèces dominantes

* La précision indiquée est la précision globale de la classification si rien n'est précisé.

Abréviations:

ACP = analyse en composantes principales, AO = approche objet, AS = angle spectral, BI = brightness index, DB= distance de Bhattacharyya, DE = Distance euclidienne, DMa = distance de Mahalanobis, DMi = distance minimale, FMB = fraction minimale de bruit, IMC = Itération des Modes Conditionnels, IPP = index de pureté du pixel, ITS = intensité - teinte - saturation, k-PPV = k plus proches voisins, MV = maximum de vraisemblance, NDVI = normalized difference vegetation index, NS = non supervisé.

Matériels

Zones d'étude

Les deux zones d'études sont présentées sur la Figure 1. Il s'agit des zones de Dumbéa et Moindou dont les formations de mangroves sont décrites ci-dessous.

- Zone de Dumbéa : estuaire de la Dumbéa, baie Hoff et Baie Taa. La mangrove de Dumbéa comporte des mangroves fluviales, de fonde de baie, d'îlot, de frange littorale et de plaine. Elle est riche en espèces de palétuvier : *Rhizophora spp.*, *Avicennia marina*, *Bruguiera spp.*, *Lumnitzera spp.* et *Excoecaria agallocha* (palétuvier aveuglant)
- Zone de Moindou : mangrove du littoral, incluant la baie située entre les presqu'îles de Tanghi et Granjo, à proximité de la ferme aquacole Sodacal. La mangrove de Moindou est une mangrove côtière. Elle est formée principalement de *Rhizophora spp.* et *Avicennia marina* et contient quelques autres espèces (*Bruguiera spp.*).

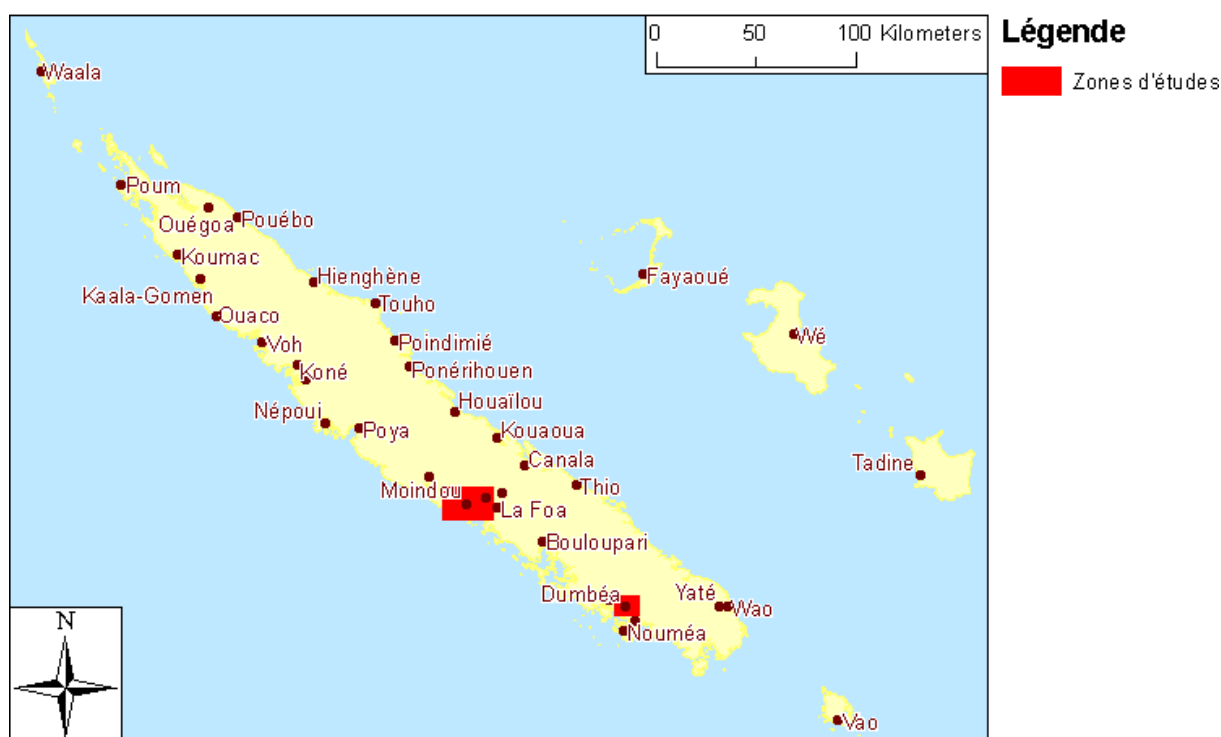


Figure 1 : Carte de situation des zones d'études.

Images SPOT 5

Caractéristiques des images SPOT 5

Le choix des bandes spectrales pour l'observation de la terre résulte de deux critères :

- la spécificité du signal reçu à telle longueur d'onde pour analyser la nature des sols, végétation, désert, teneur en eau, les villes, etc.

- la transparence de l'atmosphère et la stabilité de la transmission qui n'est suffisante que dans certaines "fenêtres".

Les bandes spectrales choisies pour le satellite SPOT 5 dans les domaines visible, proche et moyen infrarouge sont récapitulées dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Caractéristiques des bandes spectrales de SPOT 5.

Bande	Nom	Résolution spectrale (µm)	Taille des pixels au sol (m)
Panchromatique	P	0,48 - 0,71	5
Verte	B1	0,50 - 0,59	10
Rouge	B2	0,61 - 0,68	10
Proche infrarouge	B3	0,78 - 0,89	10
Moyen infrarouge	B4	1,58 - 1,75	10

Les données SPOT 5 sont constituées deux types d'images : les images panchromatiques (P) en noir et blanc à 5 m de résolution et les images multispectrales (XS) (B1, B2, B3 et B4) à 10 m de résolution.

Les données SPOT 5 utilisées dans le cadre de cette étude ont été acquises en 2005. Trois images ont été nécessaires pour couvrir les 2 zones d'études : SPOT_505 pour Dumbéa et SPOT_509 et SPOT_510 pour Moindou, comme indiqué en Annexe 0. Les images ont été prétraitées au niveau 1A et étaient codées en bytes (256 niveaux de gris). Les principales métadonnées des différentes images utilisées sont détaillées en Annexe 0. Les images ont été préparées géométriquement par la Direction des Technologies et des Services de l'Information (DTSI) comme décrit dans le paragraphe suivant.

Préparation des images

Orthorectification

Les images P et XS ont été orthorectifiées indépendamment à l'aide du logiciel Erdas Imagine LPS 9.1. On s'est appliqué ici à prendre un grand nombre de points de contrôles (GCP) répartis de manière homogène sur l'ensemble des images. Les données de référence sont en général issues de la BD Topo (cartographie au 1/10 000ème) de la Direction des Infrastructures, de la Topographie et des Transports Terrestres (DITTT). Certaines zones n'étant pas couvertes au 1/10 000ème, c'est la cartographie IGN au 1/50 000ème qui a été utilisée. Pour ce qui est du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de référence, un MNT hybride (1/10 000 et 1/50 000ème), ré-échantillonné au pas de 10 m sur l'ensemble des terres émergées a été utilisé. Le calage est donc moins précis sur les zones non couvertes au 1/10 000ème (à la date de réalisation de l'ortho image).

Extraction

Sur chacune des deux zones d'étude, ce sont des extraits des images orthorectifiées panchromatiques et multispectrales issues de la base de données d'images de la DTSI qui ont été utilisées. L'emprise des images SPOT utilisées ainsi que les zones extraites pour l'étude sont présentées sur la carte de l'Annexe 0.

Signatures spectrales de terrain

Les signatures spectrales peuvent être utilisées comme référence lors de la classification supervisée. Chaque classe est supposée avoir une signature caractéristique, différente de celles des autres classes. Ces signatures peuvent être collectées directement sur l'image (par des zones d'entraînement) ou sur le terrain. C'est cette dernière méthode qui est présentée ici.

Protocole

Les signatures spectrales se mesurent à l'aide d'un spectromètre, entre 10 et 15 heures, lorsque le soleil est proche du zénith, dans des conditions d'éclairement homogènes (ciel bleu ou couverture nuageuse uniforme).

Le spectromètre utilisé lors de la journée de terrain a permis de mesurer la réflectance d'un échantillon dans 2046 canaux répartis entre 347 et 1003 nm. Les mesures ont été réalisées le 15 juin 2007 entre 10 et 15 heures sur les 2 zones d'étude sous un ciel nuageux avec des éclaircies. Pour limiter les effets des changements d'éclairement sur les mesures, le spectromètre a été étalonné entre chaque mesure ou groupe de mesures. Compte tenu du temps limité (5 heures pour visiter les 2 sites), 2 ou 3 échantillons ont été mesurés pour chaque type de formation, comme indiqué dans le Tableau 5. Autant que possible, les mesures ont été effectuées sur des arbres ayant un feuillage dense, afin de limiter la participation du sol et/ou de l'eau à la réflectance (Figure 2).

Tableau 5 : Tableau récapitulatif des relevés spectrométriques

Formation	Numéro du point	X	Y	Site
<i>Avicennia marina</i>	11	444 708	226 074	Dumbéa
	1	368 459	272 703	Moindou
	6	368 237	271 897	Moindou
<i>Bruguiera spp.</i>	9	443 146	225 414	Dumbéa
	10	443 168	225 412	Dumbéa
<i>Lumnitzera spp.</i>	12	444 692	226 039	Dumbéa
	13	444 707	226 029	Dumbéa
<i>Rhizophora spp.</i>	5	368 153	271 988	Moindou
	8	368 190	271 925	Moindou
Tanne nu sec	2	368 656	272 652	Moindou
Tanne nu humide	3	368 650	272 652	Moindou
Salicorne sur sable	7	368 235	271 903	Moindou

Les signatures obtenues

Sur le domaine spectral utilisé par le spectromètre (347-1003 nm), seule la partie centrale, comprise entre 400 et 880 nm a pu être exploitée. En effet, les extrémités présentaient beaucoup de bruit, probablement à cause d'un manque de sensibilité du spectromètre et on observait des valeurs négatives ou supérieures à 1 pour la réflectance. Les signatures de terrain ne comportent pas d'information sur la réflectance dans le moyen infrarouge, canal 4 de SPOT.

La Figure 3 présente les signatures obtenues lors de la journée de terrain pour chaque type de formation. On retrouve bien la forme typique des signatures spectrales des formations végétales avec le pic autour de 550 nm et le saut entre 700 et 750 nm ainsi que des sols avec leur forme assez plate, en faible augmentation quand la longueur d'onde augmente.

On peut cependant noter des différences entre les signatures mesurées au sein d'une même formation : différence de magnitude pour le *Bruguiera* (c) et le *Lumnitzera* (d), de forme pour le *Rhizophora* (b) et de magnitude et de forme pour l'*Avicennia* (a). Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de ces différences, comme par exemple les changements des conditions d'éclairement, parfois très rapides qui ont pu perturber les mesures et l'étalonnage ou la proportion de sol ou d'eau visible à travers le feuillage. Les signatures des formations de tanne (e) ne présentent pas d'anomalie.

La campagne de terrain pour les mesures spectrométriques a été conduite avant l'obtention des images SPOT 5. Une fois celles-ci à disposition, il s'est avéré qu'elles étaient codées en bytes (0 à 255). Les signatures de terrain exprimées en réflectance comprise entre 0 et 1 ne sont donc pas directement utilisables pour la classification des images SPOT. Il est possible de convertir les bytes en réflectance pour utiliser les signatures mesurées sur le terrain (REBENT 2003), mais cette procédure est longue, et il faudrait corriger atmosphériquement l'image obtenue, ce qui est aussi un processus complexe. De plus, la qualité médiocre des conditions des mesures de terrain et le mixage des pixels SPOT (ombres, eau et sol) de 100 m² contre quelques dizaines de centimètres carrés pour les mesures de terrain ne garantissent pas l'obtention de classifications satisfaisantes. Par conséquent, et compte tenu du temps limité disponible pour l'étude, il a été décidé de se consacrer aux méthodes de classification utilisant des signatures spectrales directement issues des images SPOT, à travers la digitalisation de zones d'entraînement.



Figure 2 : Mesure spectrométrique d'un *Rhizophora*.

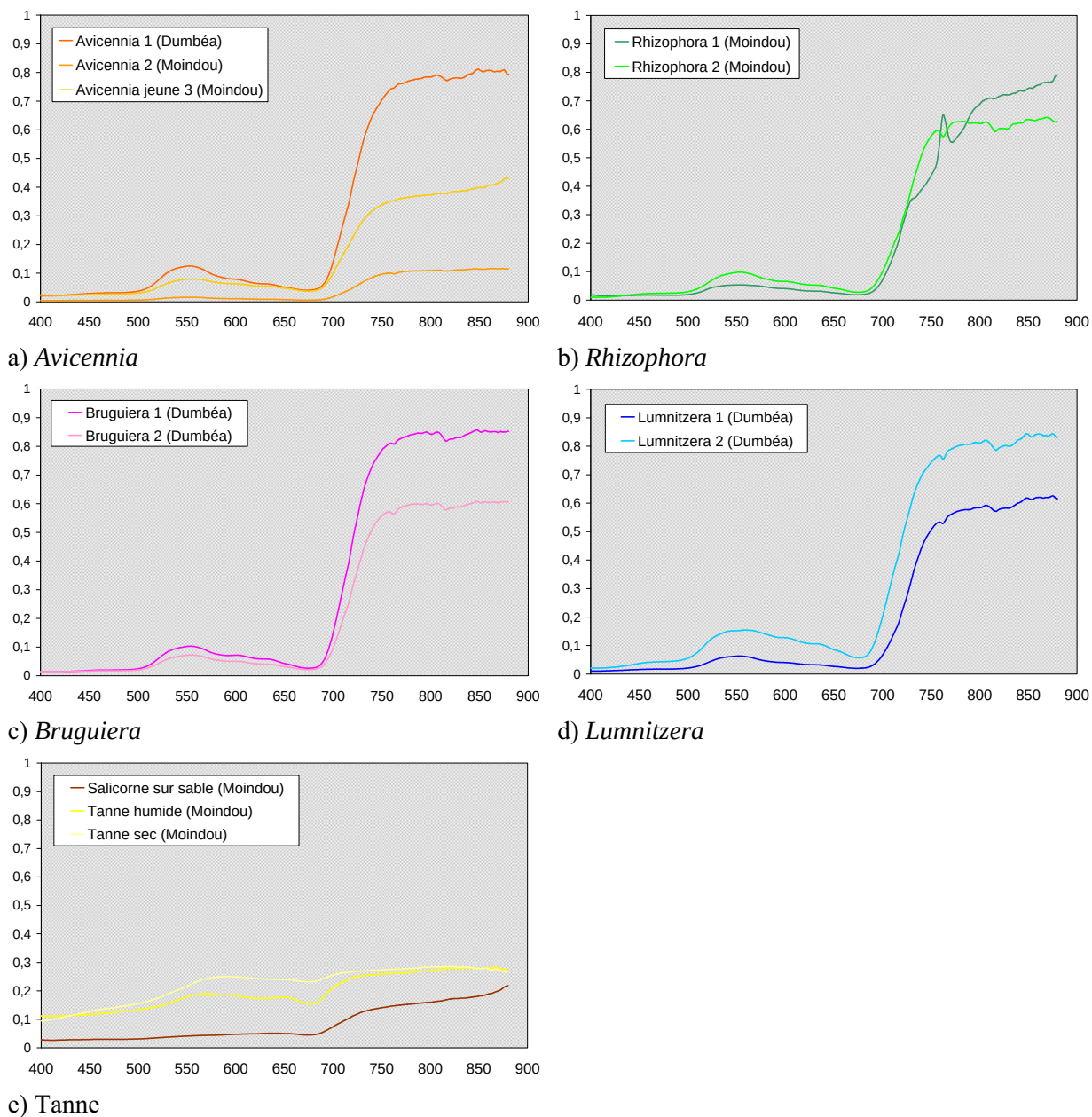


Figure 3 : Signatures spectrales des échantillons mesurés sur le terrain.

Tableau 6 : Références des photographies aériennes utilisées.

Dumbéa	Moindou
01 SEFP 01/200c n° 16 01 SEFP 01/200c n° 19 01 SEFP 01/200c n° 52 01 SEFP 01/200c n° 55 03-04 SPP 200/200c n° 24	82 PAC 64 400 n° 414 82 PAC 64 400 n° 415 82 PAC 64 400 n° 416 82 PAC 64 400 n° 429 82 PAC 64 400 n° 430 82 PAC 64 400 n° 431

Données annexes

Trait de côte et courbes de niveau

La BD Topo contenant le trait de côte et les courbes de niveau a été fournie par la DITTT, ainsi que le Modèle Numérique de Terrain (MNT) au pas de 10 m.

Photographies aériennes

Des photographies aériennes des zone de Dumbéa et Moindou ont été utilisées pour la définition des zones d'entraînement et pour le choix de points vérité terrain pour vérifier les classifications obtenues. Ces photographies, dont les références sont données ci-après, ont été fournies par la DITTT. Les photographies aériennes de Dumbéa sont assez récentes (2001 et 2004) alors que pour Moindou seules de photos en noir et blanc de 1982 étaient disponibles. Cependant, dans les 2 cas, nous avons du supposer que le couvert végétal a peu changé entre la date de la photographie et 2005, année d'acquisition des images SPOT. Les références des photographies utilisées sont listées dans le Tableau 6.

Cartographie des mangroves de Dumbéa et Moindou réalisées à partir de photographies aériennes

Les classifications réalisées par Virly (2007) à partir des photographies aériennes sur les deux zones d'études ont été utilisées conjointement avec les images SPOT 5 pour la digitalisation des zones d'entraînement pour les classifications supervisées. Elles ont également servi comme cartographie de référence (« vérité terrain ») pour la vérification des résultats obtenus par les différentes méthodes de classification testées dans le cadre de l'étude.

Tests sur la zone de Dumbéa

La zone de Dumbéa qui présente une plus grande diversité spécifique a été choisie comme zone pilote pour développer une méthodologie pour la classification des mangroves à partir des images SPOT 5. L'image SPOT_505 a été utilisée pour la zone de Dumbéa. La méthodologie a ensuite été testée sur la zone de Moindou.

Méthodologie

Schémas de classification

Les schémas de classification ont été définis conformément aux conclusions tirées de l'étude bibliographique (paragraphe 0 page 83). Compte tenu de l'importance des zones urbanisées sur le secteur de Dumbéa, une classe « zone urbaine » a été prise en compte. Une classe « sol nu » a également été ajoutée pour distinguer les tannes des sols nus, des pistes et des mines. La classe « savane » a été divisée en « savane herbeuse » et « savane arborée ou arbustive » pour tenir compte de la différence de signature spectrale entre ces deux formations. Les classes « eau profonde » et « récif » ont été fusionnées car la zone de Dumbéa ne contient pas de récif. Finalement, la présence de

nuages sur l'image a conduit à l'ajout de classes « nuage » et « ombre ». Pour la classification par densité, la classe « dense » correspond à la classe « dense » de Virly (2007) et la classe « clairsemée » correspond aux classes « clairsemée » et « moyennement dense ». Les deux schémas de classification qui ont été utilisés pour l'image entière sont présentés dans le Tableau 7. Ils ont été adaptés pour l'image masquée : les classes qui étaient entièrement masquées ont été retirées.

Tableau 7 : Les deux schémas de classification pour la zone de Dumbéa.

Schéma de classification par densité	Schéma de classification par espèce
Mangrove dense	<i>Rhizophora spp.</i>
Mangrove clairsemée	<i>Avicennia marina</i>
Tanne	Autres espèces
Forêt dense	Tanne
Maquis	Forêt dense
Savane arborée	Maquis
Savane herbeuse	Savane arborée
Sol nu	Savane herbeuse
Zone urbaine	Sol nu
Eau	Zone urbaine
Nuage	Eau
Ombre	Nuage
	Ombre

En utilisant ces deux schémas, plusieurs méthodes de classification ont été testées. La méthode du maximum de vraisemblance a produit les meilleurs résultats à la fois pour la classification par densité et pour la classification par espèce sur l'image masquée. C'est donc cette méthode qui a été choisie pour la suite des tests, comme indiqué dans le Tableau 8. Les modalités de préparation, de classification et de traitement post-classification sont détaillées dans les paragraphes suivants.

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des méthodes de classification supervisée testées sur la zone de Dumbéa.

Méthode	Données (résolution)	Préparation	Algorithme de classification	Post classification
1	XS (10 m)	-	IsoData	-
2	XS (10 m)	-	K-Means	-
3	XS (10 m)	-	MV	-
4	XS (10 m)	Masque	AS	-
5	XS (10 m)	Masque	DMa	-
6	XS (10 m)	Masque	DMi	-
7	XS (10 m)	Masque	MV	-
8	XS (10 m)	Masque	PP	-
9	XS (10 m)	Masque	MV	Filtrage
10	XS + P (5 m)	Fusion + masque	MV	-
11	XS + P (10 m)	Rééchantillonnage canal P à 10 m	MV	-

Préparation de la classification

Construction des masques

Afin d'éviter les confusions entre les zones de mangroves et le reste de l'image, il aurait été intéressant de masquer toutes les zones n'étant pas de la mangrove (mer, végétation, zones urbaines, nuages et ombres) lors du traitement de l'image. Cependant, les résultats des classifications de l'image complète ont montré qu'il n'est pas possible de créer un tel masque à partir de l'information spectrale de l'image (confusions entre les mangroves et d'autres formations végétales).

La mangrove faisant partie du milieu marin, le trait de côte (courbe d'altitude zéro) marque théoriquement la limite entre la mer et la mangrove d'une part et le milieu terrestre d'autre part. Malheureusement, un examen du trait de côte sur les zones de Dumbéa et Moindou a montré que ce dernier passait parfois à l'intérieur de la mangrove. Son utilisation dans l'élaboration d'un masque aurait ainsi conduit à « oublier » certaines zones de mangrove.

Une alternative aurait pu être l'utilisation des courbes de niveau d'altitude 10 mètres qui elles englobent l'ensemble de la mangrove dans le milieu marin. Cependant, ces courbes ne sont pas continues. Leur utilisation pour la création d'un masque aurait nécessité la digitalisation des portions manquantes. Elles ne sont donc pas utilisables dans une optique de généralisation de la méthode de classification à l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie.

C'est finalement le MNT qui a été utilisé. Les pixels situés à moins de 10 m d'altitude ont été masqués, laissant le bord de mer et l'estuaire de la Dumbéa disponible pour les traitements. Cependant, la mangrove est cantonnée à la partie aval de la Dumbéa, dans la zone située à moins de 1,6 km du trait de côte alors que la partie en amont ne contient pas de mangrove, mais quelques zones forestières risquant de causer des confusions. Une zone tampon (polygone) de 1,6 km autour du trait de côte a donc été réalisée, puis convertie en masque raster. Le masque de 10 m d'altitude et le masque de la zone tampon ont ensuite été intersectés, laissant 18,6 km², utilisables pour le reste de l'étude.

Le masque a été réalisé au pas de 10 m pour utilisation sur l'image XS et à 5 m pour l'image fusionnée. Les pixels du MNT ne se superposant pas avec les pixels de l'image SPOT, un ré-échantillonnage a été effectué, par interpolation bilinéaire pour le MNT à 10 m et par la méthode du plus proche voisin pour le MNT à 5 m, l'interpolation bilinéaire ne fonctionnant pas.

Fusion des images P et XS

Afin de tirer profit de l'information spatiale plus précise de l'image panchromatique pour la classification, une fusion avec l'image XS a été réalisée. La méthode des composantes principales qui avait produit l'image la plus proche spectralement de l'image XS a été choisie pour la mise en œuvre de la fusion. Le ré-échantillonnage a été fait par interpolation bilinéaire, ce qui a permis de prendre en compte le décalage spatial entre les pixels des images P et XS.

Ré-échantillonnage du canal P à une résolution de 10 m

Afin d'être utilisé conjointement aux canaux XS lors de la classification, le canal P a été spatialement ré-échantillonné à une résolution de 10 m. Le ré-échantillonnage a été réalisé par interpolation bilinéaire et de manière à ce que les pixels du canal P ré-échantillonné se superposent bien aux pixels des canaux XS.

Classification

Image XS entière

L'image XS a tout d'abord été classifiée de façon non supervisée selon les modalités indiquées dans le Tableau 9. Deux niveaux de finesse ont été utilisés (10 et 50 classes) pour détecter les éventuelles confusions entre les mangroves et les autres formations présentes sur l'image.

Tableau 9 : Paramètres utilisés pour les classifications non supervisées.

	Test 1	Test2	Test 3	Test 4
Nombre de bandes utilisées	4	4	4	4
Méthode	IsoData	IsoData	K-Means	K-Means
Nombre de classes	8 à 12	48 à 50	10	50
Nombre maximal d'itérations	10	10	10	10
Seuil de changement de pixel (%)	5	5	-	-
Nombre minimum de pixel dans une classe	10	10	-	-
Erreur standard maximum d'une classe (DN)	1	1	-	-
Distance minimale entre les moyennes de 2 classes (DN)	5	5	-	-
Nombre maximum de paires de classes que l'on peut fusionner	2	2	-	-

Une classification supervisée par maximum de vraisemblance a ensuite été appliquée à l'image, en utilisant les schémas de classification du Tableau 7. Pour chacune des classes, 10 zones d'entraînement ont été choisies en utilisant les photographies aériennes et la carte des mangroves, tout en s'assurant de l'homogénéité des zones sur la composition colorée des canaux SPOT (bleu : B1, vert : B2 et rouge : B3) et de la bonne répartition spatiale des zones sur l'image. Aucun seuil de probabilité n'a été utilisé.

Classifications supervisées sur l'image masquée

5 méthodes de classification supervisée ont été testées : parallélipède, distance minimale, distance de Mahalanobis, maximum de vraisemblance et angle spectral. Les zones d'entraînement ont été choisies de la même manière que précédemment. Les zones déjà digitalisées ont été conservées quand elles se trouvaient dans la zone non masquée. De nouvelles zones ont été digitalisées pour atteindre 10 zones par classes lorsque nécessaire.

L'utilisation de seuils a été nécessaire pour la méthode des parallélipèdes et la méthode de l'angle spectral. Les seuils utilisés sont indiqués dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Seuils utilisés pour les classifications par densité et par espèce en utilisant les méthodes des parallélépipèdes (distance maximale à la moyenne en nombre d'écarts types) et de l'angle spectral (angle maximal en radians).

Classe	Méthode des parallélépipèdes		Méthode de l'angle spectral	
	Classification par densité	Classification par espèce	Classification par densité	Classification par espèce
Mangrove dense	3	-	0,3	-
Mangrove clairsemée	3	-	0,3	-
Mangrove à <i>Rhizophora spp.</i>	-	3	-	0,2
Mangrove à <i>Avicennia marina</i>	-	3	-	0,2
Autre mangrove	-	3	-	0,2
Tanne	3	3	0,08	0,2
Forêt dense	3	3	0,3	0,08
Maquis	3	3	0,3	0,2
Savane arborée	3	3	0,3	0,2
Savane herbeuse	2	3	0,2	0,05
Sol nu	2	3	0,2	0,2
Zone urbaine	3	3	0,3	0,2
Eau	3	3	0,3	0,2
Nuage	3	3	0,3	0,2
Ombre	3	3	0,3	0,2

Traitement post-classification par filtrage

Les meilleures classifications ont été filtrées pour éliminer les pixels isolés. Afin de préserver le trait de côte et l'île dans la partie amont de la Dumbéa, la taille du kernel de majorité a été choisie la plus petite possible, soit 3 x 3 pixels. Le poids du pixel central a été fixé à 1, comme les 8 autres pixels du kernel. Lors du filtrage, le pixel central prend la valeur représentée en majorité dans le kernel.

Validation

Pour chaque classification, 10 polygones de vérité terrain par classe ont été digitalisés à partir de la carte réalisée par Virly (2007). Ces polygones ont ensuite été utilisés pour construire une matrice de confusion et vérifier les résultats de la classification. Les indicateurs calculés à partir de la matrice de confusion permettent de juger la qualité de la classification. La précision globale représente le pourcentage de pixels correctement classifiés. Une classification est communément considérée comme bonne lorsque la précision globale est supérieure à 70%.

Résultats

Classification non supervisée de l'image entière

Les résultats des classifications non supervisées à 10 classes effectuées sur la zone de Dumbéa sont présentées dans les Figures 4 et 5. Les couleurs de la légende ont été choisies en fonction du type de végétation couverte par la classe dans les zones sans confusion : bleu pour la mer, gris pour les nuages, vert pour le maquis et la forêt, beige pour la savane et les zones urbaines et rouge-orange pour la mangrove. Le polygone noir délimite la zone de mangrove cartographiée par Virly (2007) sur les photographies aériennes.

La Figure 4 représente la classification obtenue par la méthode IsoData (méthode 1). On peut tout d'abord remarquer que la zone de mangroves ne contient pas seulement du rouge et du orange, couleurs attribuées aux mangroves, mais aussi du vert et du beige. Une comparaison avec la carte des formations de mangroves montre que ces zones correspondent aux tannes et en partie à de la végétation indéterminée. Ceci montre que le tanne et les palétuviers ont des réponses spectrales différentes. La classification obtenue par la méthode K-Means (méthode 2, Figure 5) présente une distribution spatiale des classes similaire.

Si l'on s'intéresse à l'ensemble de la carte de la Figure 4, on s'aperçoit qu'un nombre important de pixels de la végétation a été mis dans la même classe que les mangroves. Les zones concernées sont principalement les zones sombres telles que les ombres de nuages et les versants non éclairés (en rouge), le maquis (en orange) et la forêt (en jaune). Ceci montre que les caractéristiques spectrales des mangroves et des zones sombres, forêts et maquis sont proches. Ces constatations s'observent également sur la Figure 5.

Les résultats des classifications à 50 classes (IsoData et K-Means) sont présentés en Annexe 0. Malgré une plus grande finesse (5 fois plus de classes), on observe toujours des confusions entre la mangrove, les zones d'ombre, la forêt et le maquis. On peut donc s'attendre à des confusions entre ces formations lors de la classification supervisée.

Classification par maximum de vraisemblance de l'image entière

Classification par densité

Le résultat de la classification supervisée par densité par maximum de vraisemblance (méthode 3) est présenté en Figure 6. Là encore, on observe des confusions entre la mangrove et d'autres formations végétales. Il semble que la mangrove dense est confondue avec la forêt dense tandis que la mangrove clairsemée est plutôt confondue avec le maquis, les zones d'ombre et les rivières. Il existe également quelques confusions entre le tanne et les sols nus.

La matrice de confusion (Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) est révélatrice des confusions observées sur la carte ci-dessus. En ce qui concerne les zones de mangroves, on remarque quelques confusions entre la mangrove dense et la mangrove clairsemée et entre la mangrove clairsemée et le tanne. Malgré une précision globale (72 %), la précision de l'utilisateur pour les 3 classes de mangrove (dense, clairsemé et tanne) sont faibles (43 à 60 %), de même que la précision du producteur (30 % pour la mangrove dense et le tanne).

Classifications non supervisées de la zone de Dumbéa

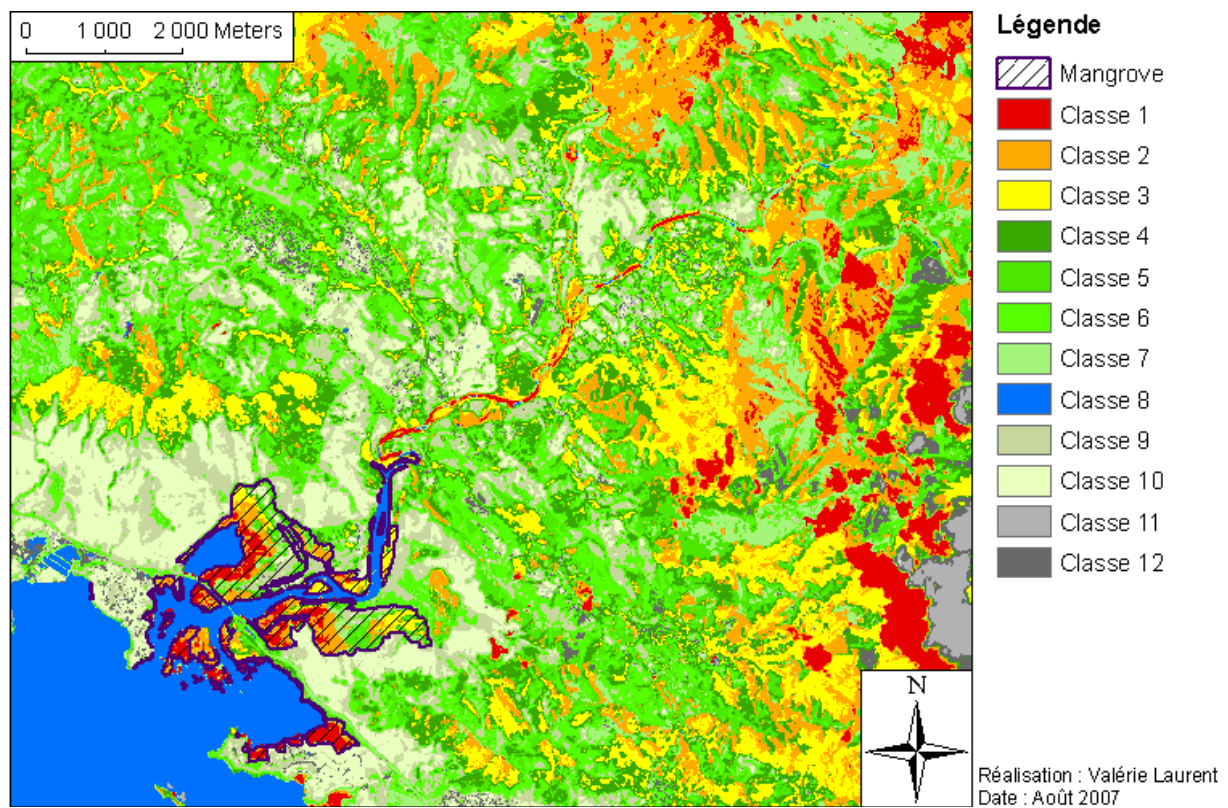


Figure 4 : Classification non supervisée IsoData à 12 classes.

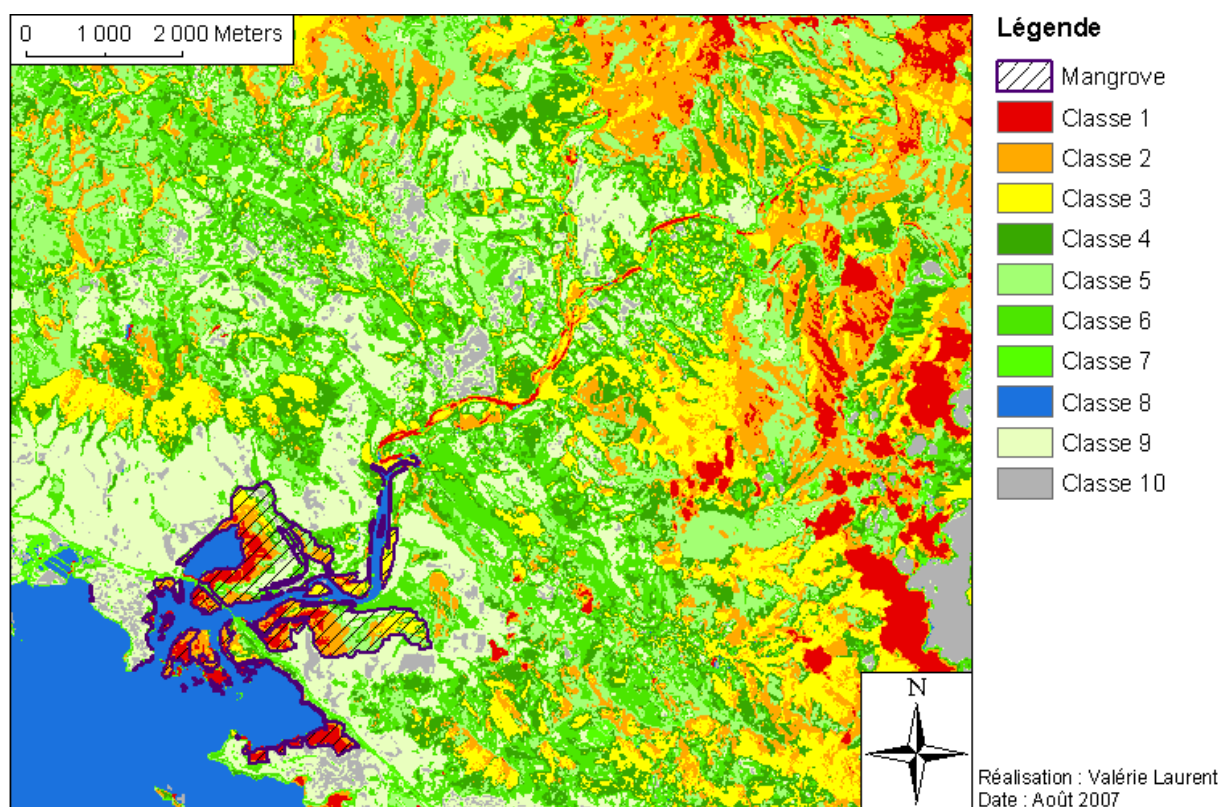


Figure 5 : Classification non supervisée K-Means à 10 classes.

Classifications par maximum de vraisemblance de la zone de Dumbéa

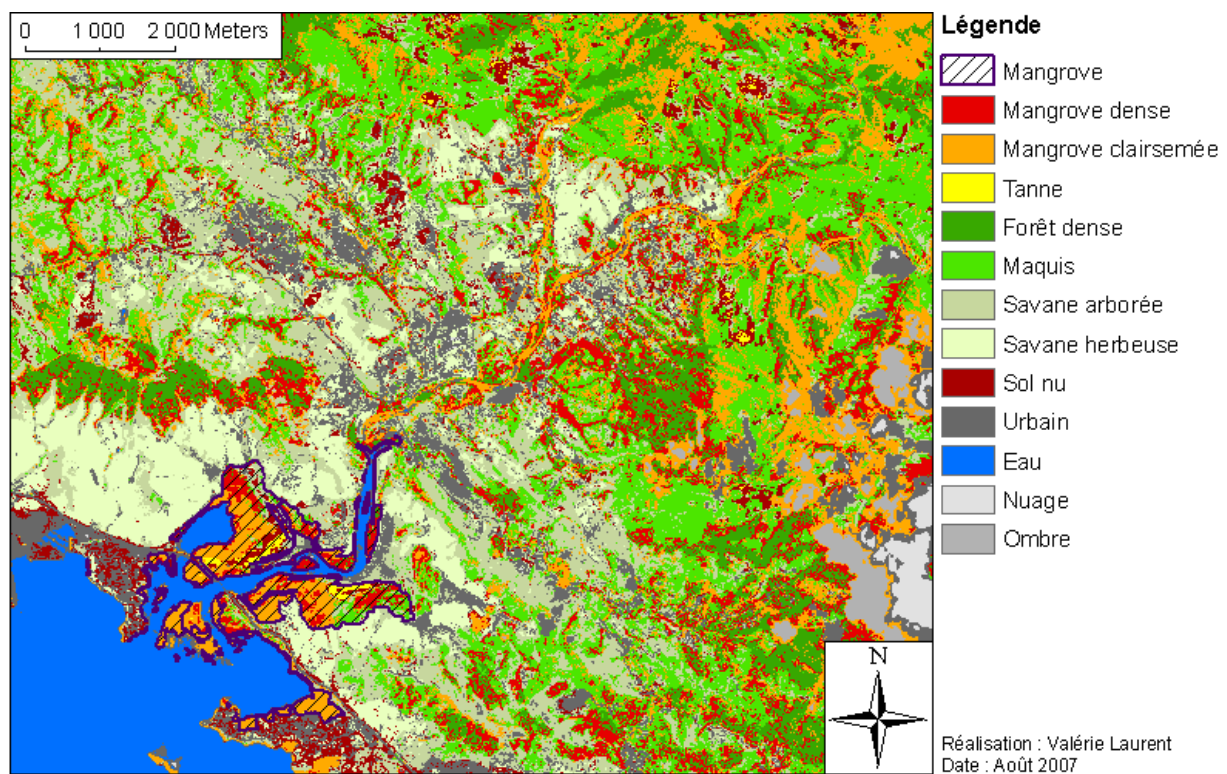


Figure 6 : Classification supervisée par densité par maximum de vraisemblance.

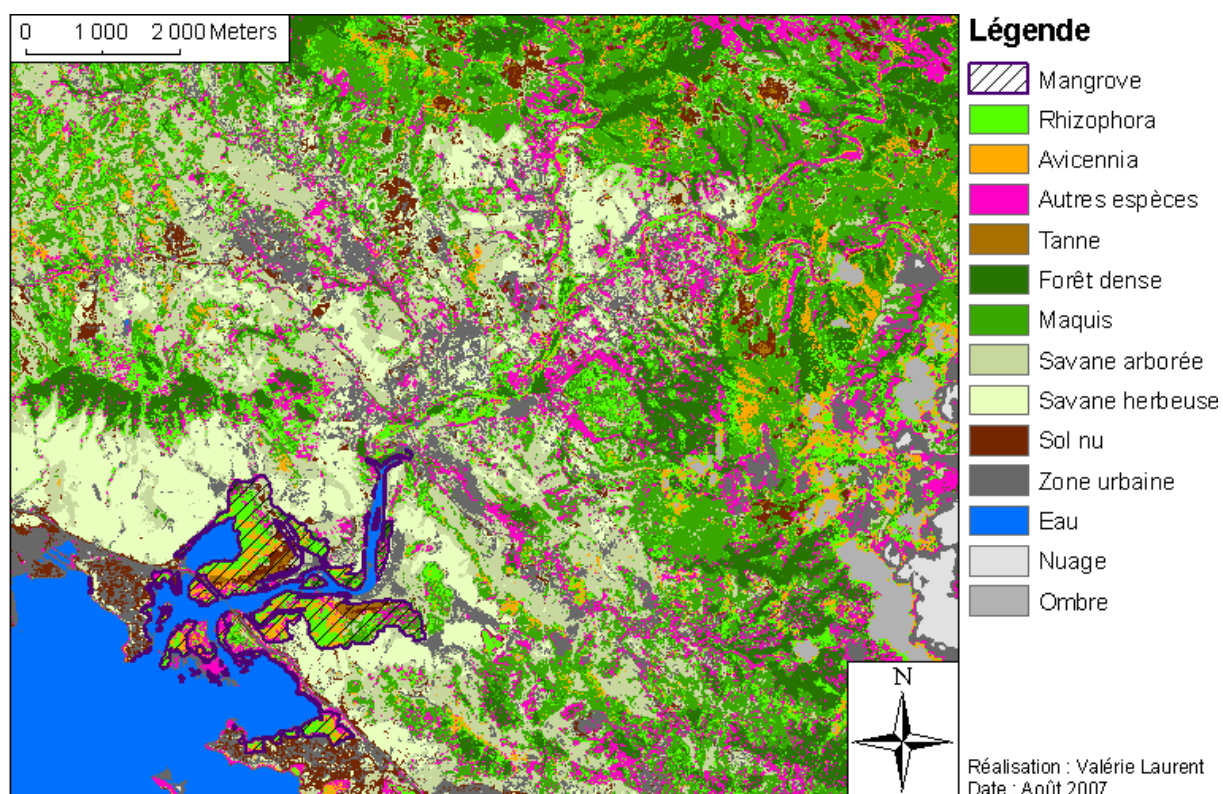


Figure 7 : Classification supervisée par espèce par maximum de vraisemblance

Classification par espèce

La Figure 7 présente la classification obtenue pour les espèces de mangroves par maximum de vraisemblance (méthode 3). On voit que les confusions avec la forêt et le maquis concernent les 3 espèces de mangroves. La précision globale de la classification est de 80 % (voir la matrice de confusion en Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les précisions du producteur et de l'utilisateur sont acceptables uniquement pour le *Rhizophora* (64 et 65 % respectivement). Pour l'*Avicennia*, la précision de l'utilisateur est de 18 % seulement tandis que pour les autres espèces, la précision du producteur est de 24 %.

Classification supervisée de l'image masquée

Classification par densité

Le Tableau 11 présente les précisions des classifications par densité obtenues en utilisant les 5 méthodes (méthodes 4 à 8). Les précisions globales sont toutes supérieures à 70 % (entre 71 et 82 %). La meilleure précision globale a été atteinte par la méthode du maximum de vraisemblance (MV) avec 82 %. On peut remarquer des disparités de précision du producteur pour les classes de mangrove entre les méthodes. La méthode des parallélipèdes (PP) semble mieux reconnaître la mangrove dense, tandis que l'angle spectral (AS) reconnaît mieux le tanne et la distance minimale (DMi), la distance de Mahalanobis (DMa) et le maximum de vraisemblance (MV) reconnaissent mieux la mangrove clairsemée. Cependant, lorsque l'on tient compte des 3 classes de mangroves, les 5 méthodes ont des performances très voisines (la précision du producteur moyenne pour la mangrove varie entre 58 et 62 %). Cependant, si l'on regarde les résultats du point de vue de l'utilisateur qui est le plus important du point de vue opérationnel de l'utilisation de la cartographie produite, il apparaît que la méthode du maximum de vraisemblance fournit la classification la plus fiable (précision de l'utilisateur moyenne pour les 3 classes de mangroves de 70 % contre moins de 62 % pour les 4 autres méthodes).

Tableau 11 : Tableau comparatif des précisions obtenues par les 5 méthodes pour la classification par densité de mangrove (%).

		PP	DMi	DMa	MV	AS
	Précision globale	75	71	76	82	73
Précision du producteur	Mangrove dense	72	36	30	47	41
	Mangrove clairsemée	58	73	77	86	65
	Tanne	57	75	68	43	80
	Moyenne mangrove	62	61	58	59	62
Précision de l'utilisateur	Mangrove dense	36	36	35	49	38
	Mangrove clairsemée	54	49	49	60	67
	Tanne	96	63	75	100	68
	Moyenne mangrove	62	49	53	70	58

La Figure 8 présente la classification obtenue par la méthode du maximum de vraisemblance. On peut voir que certaines zones de mangroves ont été classifiées en forêt dense et que le pourtour du tanne est souvent classifié en sol nu. Ces deux constatations sont confirmées par la matrice de confusion

(Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette dernière révèle également des confusions entre mangrove clairsemée et mangrove dense.

Classifications par maximum de vraisemblance de l'image masquée

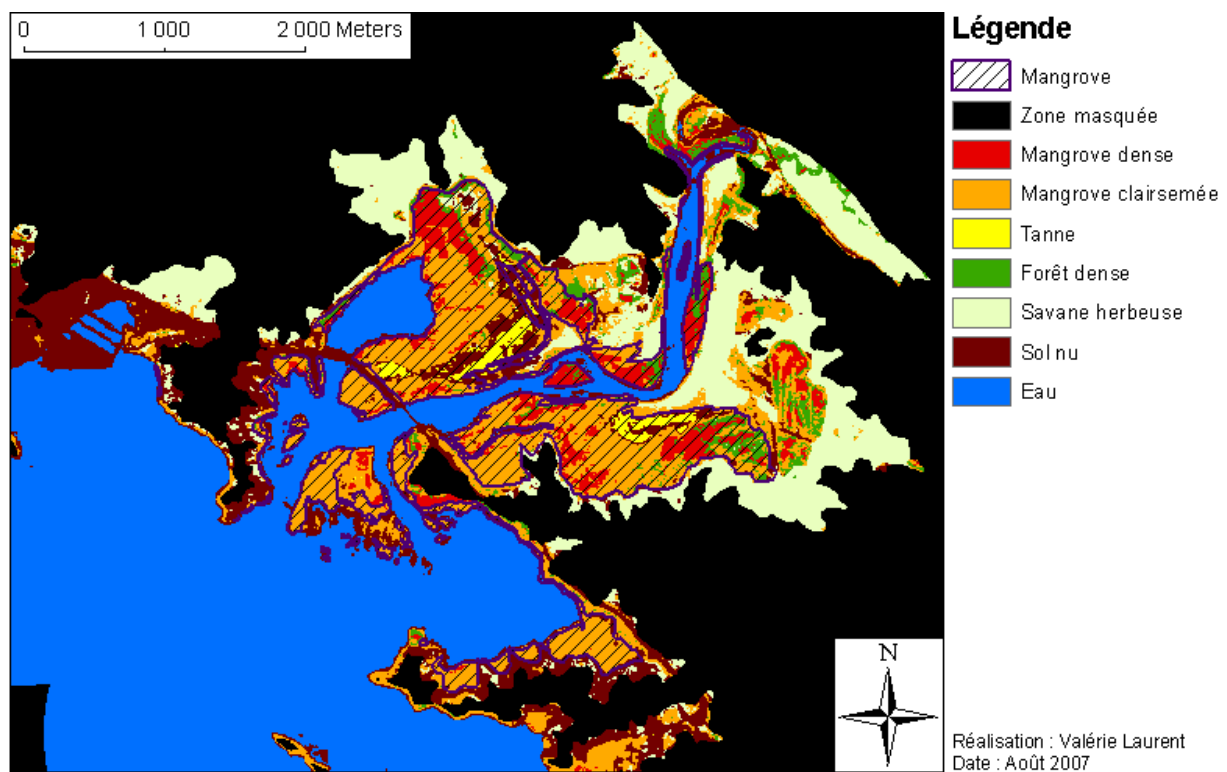


Figure 8 : Classification supervisée par densité par maximum de vraisemblance de l'image masquée.

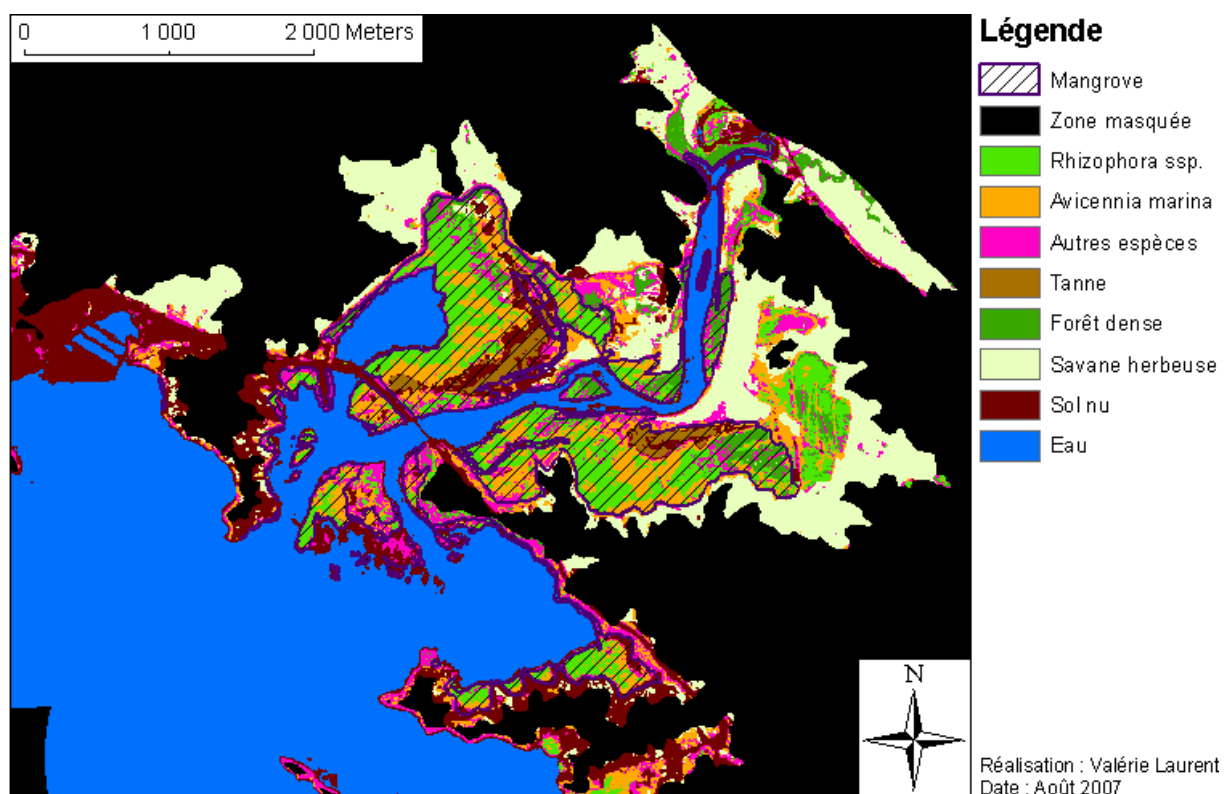


Figure 9 : Classification supervisée par espèce par maximum de vraisemblance de l'image masquée.

Classification par espèce

Le Tableau 12 présente les précisions des classifications obtenues en utilisant les 5 méthodes (méthodes 4 à 8), récapitulées à partir des matrices de confusion de l'Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Les précisions globales sont globalement faibles, sauf celle de la classification par maximum de vraisemblance (MV) qui dépasse 70 %. Cette dernière obtient également la meilleure précision de l'utilisateur (59 %) et l'une des meilleures précisions du producteur (53 %). On peut remarquer des disparités de précision du producteur pour les classes de mangrove entre les méthodes. La méthode des parallélépipèdes (PP) semble mieux reconnaître les formations de *Rhizophora ssp.* tandis que les 4 autres méthodes reconnaissent mieux l'*Avicennia marina*. Aucune des méthodes ne parvient à classer les autres espèces de palétuvier de façon satisfaisante. Lorsque l'on regarde les résultats du point de vue de l'utilisateur, il apparaît que la méthode du maximum de vraisemblance fournit la classification la plus fiable (précision de l'utilisateur moyenne pour les 4 classes de mangroves de 59 % contre moins de 45 % pour les 4 autres méthodes). En utilisant la méthode du maximum de vraisemblance, on obtient des précisions de l'utilisateur bonnes à très bonnes pour le tanne, les formations de *Rhizophora ssp.* et d'autres espèces. Par contre, la précision de l'utilisateur pour les formations d'*Avicennia marina* est très faible (18 %), ce qui révèle une très faible fiabilité pour cette espèce.

Tableau 12 : Tableau comparatif des précisions obtenues par les 5 méthodes pour la classification par espèce (%).

		PP	DMi	DMa	MV	AS
	Précision globale	63	54	56	71	57
Précision du producteur	<i>Rhizophora ssp.</i>	95	0	25	67	44
	<i>Avicennia marina</i>	8	88	81	81	72
	Autres espèces	1	34	21	21	24
	Tanne	58	75	56	43	85
	Moyenne mangrove	40	49	45	53	56
Précision de l'utilisateur	<i>Rhizophora ssp.</i>	43	0	64	66	65
	<i>Avicennia marina</i>	11	9	14	18	14
	Autres espèces	35	49	28	54	40
	Tanne	91	61	64	96	29
	Moyenne mangrove	45	30	42	59	37

La Figure 9 montre la classification obtenue par la méthode du maximum de vraisemblance. Une comparaison avec la carte des mangroves obtenue par Virly (2007) montre que certaines zones de mangroves, comme par exemple les formations d'autres espèces du coude de la Dumbéa, ont été classifiées en forêt dense. Ceci est confirmé par la matrice de confusion (Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette dernière révèle également des confusions entre *Rhizophora ssp.*, *Avicennia marina*, les autres espèces de palétuviers et la forêt dense. Les zones sans végétation sont également sujettes à des confusions, comme c'est le cas entre le tanne et le sol nu, ainsi qu'on peut le remarquer sur la Figure 9 et sur la matrice de confusion.

Filtrage de la classification par maximum de vraisemblance de l'image masquée

Classification par densité

La carte obtenue après filtrage de la classification par maximum de vraisemblance par densité de mangroves (méthode 9) est très similaire à la Figure 8. Une grande partie des pixels isolés a été reclassifiée selon la classe dominante dans son voisinage grâce au filtrage, ce qui rend la carte plus lisible. Le Tableau 13 montre que les précisions (globale, producteur et utilisateur) obtenues avant et après filtrage sont très similaires. Le filtrage n'a pas d'effet significatif sur la précision de la classification.

Tableau 13 : Tableau comparatif des précisions obtenues par maximum de vraisemblance pour la classification par densité avant et après filtrage (%).

		Avant filtrage	Après filtrage
Précision globale		82	83
Précision du producteur	Mangrove dense	47	46
	Mangrove clairsemée	86	88
	Tanne	43	42
	Moyenne mangrove	59	59
Précision de l'utilisateur	Mangrove dense	49	52
	Mangrove clairsemée	60	61
	Tanne	100	100
	Moyenne mangrove	70	71

Classification par espèce

Les constatations sont analogues à celles faites pour la classification par densité. La carte obtenue après filtrage est similaire à la Figure 9 et le Tableau 14 montre que le filtrage n'a pas d'influence significative sur les précisions de la classification.

Tableau 14 : Tableau comparatif des précisions obtenues par maximum de vraisemblance pour la classification par espèce avant et après filtrage (%).

		Avant filtrage	Après filtrage
Précision globale		71	71
Précision du producteur	<i>Rhizophora ssp.</i>	67	70
	<i>Avicennia marina</i>	81	85
	Autres espèces	21	19
	Tanne	43	41
	Moyenne mangrove	53	54
Précision de l'utilisateur	<i>Rhizophora ssp.</i>	66	68
	<i>Avicennia marina</i>	18	19
	Autres espèces	54	57
	Tanne	96	96
	Moyenne mangrove	59	60

Classification par maximum de vraisemblance de l'image fusionnée masquée

Classification par densité

La carte obtenue par la classification par maximum de vraisemblance par densité de l'image fusionnée masquée (méthode 10) est semblable à celle obtenue par la même méthode sans fusion (méthode 7, Figure 8). La précision globale calculée à partir de la matrice de confusion présentée en Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, est de 83 %. Les précisions de l'utilisateur et du producteur sont acceptables pour la mangrove clairsemée (61 et 90 % respectivement), mais trop faibles pour la mangrove dense et le tanne (50 et 47 % pour la mangrove dense et précision du producteur de 47 % pour le tanne).

Classification par espèce

De même que pour la classification par densité, la classification par espèce par maximum de vraisemblance de l'image fusionnée masquée (méthode 10) est similaire à la classification obtenue sur l'image XS seule (méthode 7, Figure 9). La précision globale de cette classification est de 71 % (voir matrice de confusion en Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), soit une précision identique à la classification sur l'image non fusionnée. Les précisions du producteur et de l'utilisateur pour les classes de mangroves sont cependant un peu meilleures (+ 0 à 3 %).

Classification par maximum de vraisemblance de l'image à 5 canaux masquée

Classification par densité

La carte obtenue par classification par maximum de vraisemblance de l'image à 5 canaux à 10 m est similaire à la classification présentée en Figure 8, obtenue par classification par maximum de vraisemblance de l'image XS masquée. La matrice de confusion de l'Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre une précision globale de 82 %. Comme précédemment, les précisions du producteur et de l'utilisateur ne sont pas homogènes selon les classes : elles sont acceptables pour la mangrove clairsemée mais toujours faibles pour la mangrove dense et le tanne.

Classification par espèce

De même que pour la classification par densité, le résultat de la classification par espèce de l'image à 5 canaux est similaire à la classification obtenue sur l'image XS (Figure 8). La précision globale est de 72 %. Les précisions de l'utilisateur pour les classes *Avicennia* et « autres espèces » sont faibles : 20 et 52 % respectivement, comme indiqué en Annexe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

Discussion

Les valeurs de précision globales des classifications obtenues ici (de 71 à 83 % pour les classifications par densité et de 57 à 80 % pour les classifications par espèce, voir Tableaux 15 et 16) correspondent bien aux valeurs rapportées dans la littérature (voir Tableau 3). L'identification du maximum de vraisemblance comme la méthode donnant les meilleurs résultats pour la classification des mangroves est également cohérente avec la proportion importante d'auteurs ayant utilisé cette méthode.

Les confusions observées entre les mangroves et d'autres formations végétales ou entre le tanne et les sols nus ont également été rencontrées par d'autres auteurs. Ainsi, Dumas (2004) notait des confusions entre les mangroves et le maquis minier et la forêt dense ainsi que entre le tanne et des sols nus en altitude sur les 3 communes en Nouvelle Calédonie, dont la commune de Dumbéa.

On peut également noter que, contrairement aux constatations de Wang et al. (2004a; Wang et al. 2004b), l'utilisation de la bande panchromatique n'a pas permis d'augmenter la précision de la classification de façon significative.

Conclusion sur les tests de la zone de Dumbéa

Un récapitulatif des résultats obtenus pour la classification supervisée par densité est présenté dans le Tableau 15 (Les tests par classification non supervisée ne sont pas répertoriés car aucune précision n'a été calculée). On peut ainsi voir que la meilleure précision globale (86 %) a été atteinte par la classification par maximum de vraisemblance sur l'ensemble de l'image. Cependant, les nombreuses confusions entre les formations de mangroves et la forêt dense et le maquis et entre le tanne et le sol nu conduisent à de faibles précisions pour l'utilisateur. L'application d'un masque a permis de diminuer l'occurrence des confusions et ainsi d'améliorer les précisions de l'utilisateur pour les classes mangrove. Le filtrage des résultats ne change pas les précisions de la carte significativement. Cette opération permet seulement d'améliorer la lisibilité des résultats. Les autres méthodes de classification supervisées testées sur l'image masquée ont donné des résultats de moins bonne qualité que le maximum de vraisemblance. Les deux tests de classification utilisant le canal P (image fusionnée et ré-échantillonnage du canal P à 10m) n'ont pas permis l'obtention de résultats significativement meilleurs.

Les résultats des tests pour la classification par espèce sont récapitulés dans le Tableau 16. Les constatations sont analogues à celles faites pour les classifications par densité.

Dans les deux cas, la classification par maximum de vraisemblance est la méthodologie qui est la plus adaptable dans le cadre d'une généralisation de la méthode à l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie. Elle a en effet donné des résultats quasiment équivalents à ceux obtenus en utilisant un filtre ou la fusion XS-P, et a l'avantage de demander moins de préparation et de traitements. C'est donc cette méthodologie qui a été appliquée sur la zone de Moindou.

Tableau 15 : Tableau récapitulatif des tests pour la classification par densité de la zone de Dumbéa.

Méthode de classification	Préparation	Post classification	Précision globale (%)	Précision du producteur (%)			Précision de l'utilisateur (%)		
				Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne
AS	Masque	-	73	41	65	80	38	67	68
DMa	Masque	-	76	30	77	68	35	49	75
DMi	Masque	-	71	36	73	75	36	49	63
Para	Masque	-	75	72	58	57	36	54	96
MV	-	-	86	51	77	39	38	47	53
MV	Masque	-	82	47	86	43	49	60	100
MV	Masque	Filtrage	83	46	88	42	52	61	100
MV	Fusion + masque	-	83	47	90	47	50	61	100
MV	Rééchantillonnage du canal P à 10 m	-	82	53	85	52	51	60	100

Tableau 16 : Tableau récapitulatif des tests pour la classification par espèce de la zone de Dumbéa.

Méthode de classification	Préparation	Post classification	Précision globale (%)	Précision du producteur (%)				Précision de l'utilisateur (%)			
				<i>Rhizophora</i> ssp.	<i>Avicennia marina</i>	Autres espèces	Tanne	<i>Rhizophora</i> ssp.	<i>Avicennia marina</i>	Autres espèces	Tanne
AS	Masque	-	57	44	72	24	85	65	14	40	29
DMa	Masque	-	56	25	81	21	56	64	14	28	64
DMi	Masque	-	54	0	88	34	75	0	9	49	61
Para	Masque	-	63	95	8	1	58	43	11	35	91
MV	-	-	80	64	74	24	49	65	18	36	47
MV	Masque	-	71	67	81	21	43	66	18	54	96
MV	Masque	Filtrage	71	70	85	19	41	68	19	57	96
MV	Fusion + masque	-	71	69	82	23	47	66	18	57	98
MV	Rééchantillonnage du canal P à 10 m	-	72	72	80	22	52	71	20	52	98

Application à la zone de Moindou

Méthodologie

Comme expliqué au paragraphe 0, seule la classification par maximum de vraisemblance sur l'image masquée a été appliquée à la zone de Moindou. Cette méthode a été utilisée pour réaliser des classifications par densité et par espèce des deux images disponibles pour la zone de Moindou (SPOT_509 et SPOT_510). Le masque a été réalisé en utilisant une altitude maximale de 10 m et une zone tampon de 1800 m autour du trait de côte. 10 zones d'entraînement et de vérité terrain ont été digitalisées pour chaque classe, sauf pour la classe « autres espèces » pour laquelle 5 zones ont été digitalisées et la classe « forêt dense » qui était absente sur l'image SPOT_510. Par ailleurs, la classe « eau » a été scindée en « eau profonde » et « eau peu profonde » afin d'éviter des confusions entre l'eau peu profonde et le tanne. Les zones d'entraînement et de vérité terrain ont tout d'abord été digitalisées sur l'image SPOT_509. L'image SPOT_510 présentait moins de surface terrestre, mais plus de surface marine. Certaines zones de l'image SPOT_509 n'étaient par conséquent pas utilisables. D'autres zones ont donc été digitalisées jusqu'à atteindre 10 zones par classe (5 pour la classes « autres espèces »). Les schémas de classification utilisés sont récapitulés dans le Tableau 17. On notera que concernant les classes de mangrove, les zones ont été digitalisées uniquement dans la zone cartographiée par Virly (2007) car il était nécessaire d'avoir un certain degré de certitude pour les zones d'entraînement et de vérité terrain.

Tableau 17 : Les schémas de classification utilisés pour la zone de Moindou.

Schéma de classification par densité		Schéma de classification par espèce	
SPOT_509	SPOT_510	SPOT_509	SPOT_510
Mangrove dense	Mangrove dense	<i>Rhizophora spp.</i>	<i>Rhizophora spp.</i>
Mangrove clairsemée	Mangrove clairsemée	<i>Avicennia marina</i>	<i>Avicennia marina</i>
Tanne	Tanne	Autres espèces	Autres espèces
Forêt dense		Tanne	Tanne
Savane arborée	Savane arborée	Forêt dense	
Savane herbeuse	Savane herbeuse	Savane arborée	Savane arborée
Sol nu	Sol nu	Savane herbeuse	Savane herbeuse
Zone urbaine	Zone urbaine	Sol nu	Sol nu
Eau	Eau	Zone urbaine	Zone urbaine
Nuage	Nuage	Eau	Eau
Ombre	Ombre	Nuage	Nuage
		Ombre	Ombre

Résultats

Classification par densité

Les classifications par densité des images SPOT_509 et SPOT_510 obtenues par maximum de vraisemblance sont présentées en Figure 10. La partie hachurée représente la zone pour laquelle la cartographie de Virly (2007) était disponible. Les précisions globales sont de 84 et 87 % pour les images SPOT_509 et SPOT_510 respectivement. Le Tableau 18 montre également que les précisions du producteur sont bonnes pour la mangrove dense, mais au-dessous de 50 % pour la mangrove

clairsemée et le tanne. La tendance est la même pour la précision de l'utilisateur qui est bonne pour la mangrove dense et très insuffisante pour la mangrove clairsemée et le tanne (inférieure à 23 % pour SPOT_509 et inférieure à 41 % pour SPOT_510).

Le Tableau 18 permet également de remarquer que les performances obtenues avec les 2 images sont globalement similaires, malgré quelques différences de répartition spatiale des classes observables sur la Figure 10. On note cependant que les précisions du producteur sont meilleures pour l'image SPOT_509. Par contre, la précision de l'utilisateur pour la mangrove clairsemée est bien meilleure sur l'image SPOT_510 (41 contre 23 %), mais la précision de l'utilisateur pour le tanne est un peu moins bonne (19 contre 24 %).

La matrice de confusion de l'Annexe 0 montre des confusions entre mangrove dense et mangrove clairsemée et entre mangrove clairsemée et tanne. Le tanne a parfois été confondu avec le sol nu ou l'eau peu profonde. Les autres classes de végétation (forêt dense pour SPOT_509, savane arborée et savane herbeuse) ont également été confondues. On peut également noter que plusieurs types d'occupation des sols ont été classifiés comme nuage ce qui peut s'expliquer par la digitalisation accidentelle de zones de vérité terrain sous une couche très fine de nuages. L'analyse de la matrice de confusion pour l'image SPOT_510 montre que des zones de mangrove clairsemée, tanne, savane herbeuse ou de nuage ont été classées en sol nu. Ceci est peut être causé par la digitalisation erronée de quelques parcelles d'entraînement dues par exemple à la date trop antérieure des photographies aériennes.

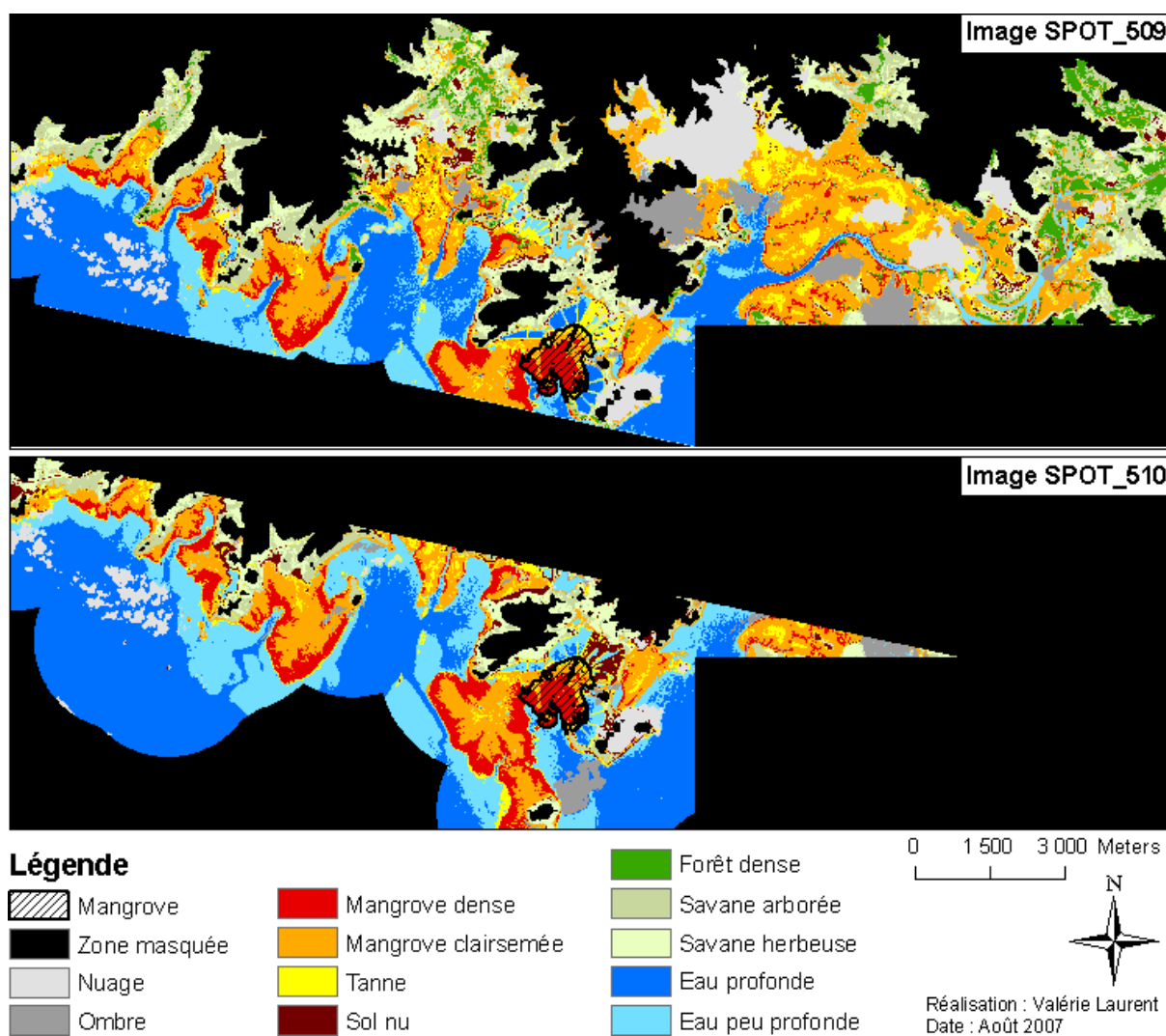


Figure 10 : Classification supervisée par maximum de vraisemblance des images SPOT_509 et SPOT_510 masquées par densité.

Tableau 18 : Tableau comparatif des précisions obtenues pour la classification par densité par maximum de vraisemblance sur les images SPOT_509 et SPOT_510 (%).

		SPOT_509	SPOT_510
Précision globale		84	87
Précision du producteur	Mangrove dense	91	92
	Mangrove clairsemée	49	48
	Tanne	44	37
	Moyenne mangrove	61	59
Précision de l'utilisateur	Mangrove dense	80	78
	Mangrove clairsemée	23	41
	Tanne	24	19
	Moyenne mangrove	43	46

Classification par espèce

Les classifications par espèces obtenues pour les 2 images par la méthode du maximum de vraisemblances sont présentées en Figure 11. Le Tableau 19 montre que ces classifications ont obtenu des précisions globales de 85 et 88 % respectivement. Les formations de *Rhizophora spp.* et d'*Avicennia marina* ont d'excellentes précisions du producteur tandis que les formations d'autres espèces et le tanne ont été moins bien reconnues (précisions autour de 60 % pour le tanne et de 35 % pour les autres espèces). Les précisions de l'utilisateur sont très bonnes pour les formations de *Rhizophora spp.*, moins bonnes pour les formations d'*Avicennia marina* et le tanne (environ 55 % pour l'*Avicennia marina* et 30 à 36 % pour le tanne) et très mauvaises pour les formations d'autres espèces : moins de 4 %.

De même que pour les classifications par densité, le Tableau 19 montre que les précisions des classifications par espèce sur les 2 images sont comparables : toutes les valeurs (précision globale, précisions du producteur et de l'utilisateur) sont très proches. Sauf peut être le tanne qui présente une meilleure précision du producteur sur l'image SPOT_509 que sur l'image SPOT_510 (63 contre 55 %).

D'après la matrice présentée en Annexe 0 et en ce qui concerne les mangroves, les confusions ont principalement eu lieu entre les 3 espèces de mangrove et entre les savanes (arborée et herbeuse) et la classe « autres espèces ». Le tanne a également été parfois confondu avec le sol nu ou de l'eau peu profonde. Pour les autres classes des confusions ont été détectées entre la forêt dense (SPOT_509) et la savane arborée, entre la savane arborée et la savane herbeuse, entre les 2 classes d'eau et entre l'ombre et les nuages.

Tableau 19 : Tableau comparatif des précisions obtenues pour la classification par espèce par maximum de vraisemblance sur les images SPOT_509 et SPOT_510 (%).

		SPOT_509	SPOT_510
	Précision globale	85	88
Précision du producteur	<i>Rhizophora spp.</i>	88	89
	<i>Avicennia marina</i>	98	98
	Autres espèces	35	35
	Tanne	63	55
	Moyenne mangrove	71	70
Précision de l'utilisateur	<i>Rhizophora spp.</i>	100	99
	<i>Avicennia marina</i>	55	56
	Autres espèces	4	3
	Tanne	36	30
	Moyenne mangrove	49	47

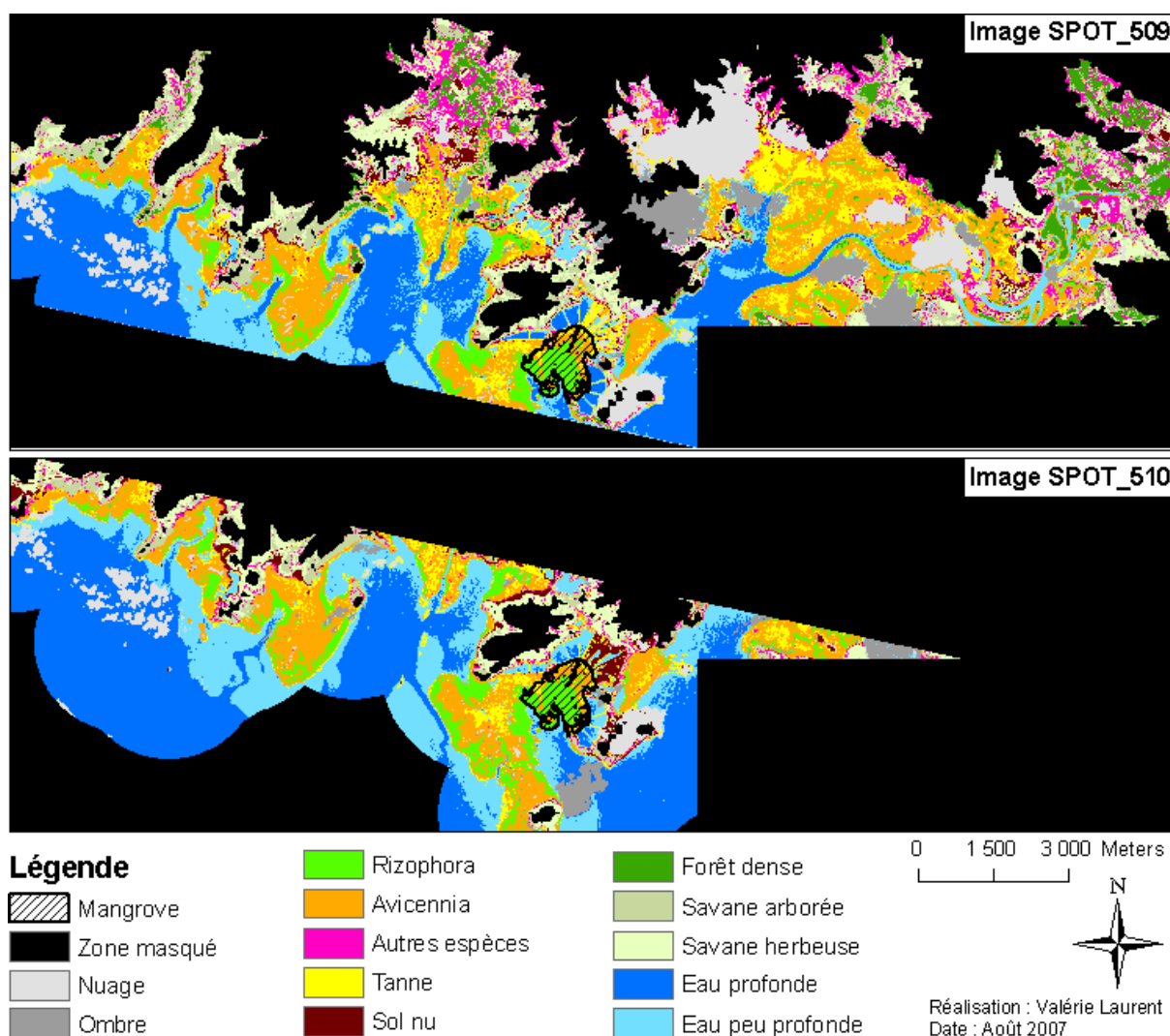


Figure 11 : Classification supervisée par maximum de vraisemblance des images SPOT_509 et SPOT_510 masquées par espèce.

Discussion

De même que pour la zone de Dumbéa, les précisions atteintes correspondent aux précisions rapportées dans la littérature (Tableau 3). Les confusions notées par Dumas (2004) entre les mangroves et la forêt dense et entre le tanne et les sols nus ont également été observées lors de l'application de la méthodologie à la zone de Moindou. La présence de nuages dans la zone non masquée de l'image, et notamment de nuages très fins, a conduit à la classification erronée de plusieurs types d'occupation des sols en « nuage ».

Les résultats de classification de l'image SPOT_509 présentent des précisions globales moins bonnes que les classifications obtenues à partir de l'image SPOT_510. Une explication est peut-être que l'image SPOT_510 couvre moins de terre et plus de mer, milieu plus homogène et moins complexe à classer au niveau de détail qui nous intéressait ici.

Un point de discussion important des résultats sur la zone de Moindou est que, comme indiqué dans la méthodologie, les zones d'entraînement et surtout de vérité terrain ont été choisies dans la zone

cartographiée par Virly (2007), seule zone pour laquelle des données étaient disponible. Il serait intéressant de collecter des données de vérité terrain sur les autres zones de mangrove afin de s'assurer de la qualité des classifications sur ces zones.

Conclusion

La classification par maximum de vraisemblance sur l'image masquée identifiée comme meilleure méthode de classification sur la zone de Dumbéa a donné des résultats satisfaisants sur la zone de Moindou en termes de précision globale. Cependant les précisions par classe de mangroves sont trop faibles pour la mangrove dense, l'*Avicennia marina*, les autres espèces et le tanne.

Discussion

Discussion des résultats obtenus sur les zones de Dumbéa et Moindou

Comme déjà discuté dans les parties précédentes, des confusions ont eu lieu entre la mangrove et la forêt dense et le maquis et entre le tanne et les sols nu. Ces confusions ont déjà été observées par d'autres auteurs (Dumas 2004). Les précisions globales obtenues correspondent également aux valeurs publiées dans la littérature (voir Tableau 3).

Le Tableau 20 montre que les précisions globales des classifications par densité obtenues pour les zones de Dumbéa et Moindou sont dans le même ordre de grandeur (82 à 87 %) et indiquent toutes de bons résultats. Pour les classifications par espèce, la précision globale pour la zone de Dumbéa a atteint 71 % seulement contre 85 et 88 % pour la zone de Moindou. Ceci pourrait être expliqué par la structure plus complexe de la mangrove de Dumbéa. Elle présente en effet une imbrication des formations de mangroves avec parfois des zones de petite surface équivalant à quelques pixels de l'image SPOT. De plus, les formations constituées d'« autres espèces » représentent une surface importante de la mangrove de Dumbéa et ont prêté à de nombreuses confusions.

Tableau 20 : Tableau comparatif des précisions globales obtenues sur les zones de Dumbéa et Moindou pour les classifications par densité et par espèce.

Zone	Image	Précision globale (%)	
		Densité	Espèce
Dumbéa	SPOT_505	82	71
Moindou	SPOT_509	84	85
	SPOT_510	87	88

En ce qui concerne la validation, la question de la restriction spatiale des zones de vérité terrain à la zone cartographiée par Virly (2007) a déjà été soulevée. Un autre problème est d'avoir utilisé cette même classification pour la digitalisation des zones d'entraînement, et non des données de terrain. En effet, toute classification contient des erreurs et ces erreurs nuisent ensuite à la fiabilité de l'évaluation de la qualité de nos tests de classification.

Discussion sur la capacité de généralisation de la méthodologie à l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie

Comme évoqué précédemment, la méthodologie doit utiliser uniquement des données disponibles pour l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie. Cette contrainte a bien été intégrée dans l'étude, puisque aucune donnée n'a manqué sur la zone de Moindou où a été testée la méthodologie développée sur la zone de Dumbéa. Cependant, deux adaptations ont été nécessaires pour classer la zone de Moindou :

- La modification du rayon de la zone tampon autour du trait de côte pour l'élaboration du masque de 1600 à 1800 m

- La séparation de la classe « eau » en « eau profonde » et « eau non profonde » afin d'éviter les confusions entre le tanne et l'eau peu profonde

La zone de Moindou représente seulement un exemple en Nouvelle-Calédonie et l'on peut imaginer que des adaptations seront aussi nécessaires dans d'autres cas. La liste non exhaustive des adaptations éventuelles contient :

- La modification des paramètres pour la réalisation du masque (rayon de la zone tampon autour du trait de côte ou altitude maximum considérée)
- La modification du schéma de classification par séparation, ajout ou retrait de classes

Conclusion

Plusieurs méthodologies ont été testées sur la zone de Dumbéa. Les meilleurs résultats, en tenant compte de l'objectif de généralisation de la méthode, ont été obtenus par la classification par maximum de vraisemblance sur l'image masquée. Cette méthodologie a été appliquée à la zone de Moindou, avec des performances comparables à celles obtenues sur la zone de Dumbéa, voire meilleures dans le cas de la classification par espèce. Sur les deux zones, des précisions globales satisfaisantes ont été atteintes, mais les précisions du producteur et de l'utilisateur pour les classes de mangroves sont insuffisantes pour l'*Avicennia marina*, les autres espèces et la mangrove dense.

Pour améliorer ces faiblesses, la présente étude sera poursuivie par des tests d'autres approches de classification comme la classification ascendante hiérarchique, déjà utilisée par Dumas et al. (2005) en Nouvelle-Calédonie.

A l'issue de cette étude, il est cependant possible de faire des recommandations quant aux caractéristiques d'une méthodologie de classification des mangroves généralisable à l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie. Une telle méthodologie doit uniquement utiliser des données disponibles sur tout le territoire. Dans le cadre de la cartographie des mangroves, le MNT et le trait de côte sont des exemples de données intéressantes. D'autre part, l'utilisation d'un masque permet de réduire les confusions entre la mangrove et les autres formations végétales et entre le tanne et les sols nus. Les critères de définition du masque peuvent utilement inclure une altitude maximale et une distance maximale au trait de côte. Afin de garantir la souplesse nécessaire à la validité de la méthodologie pour l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie, la valeur de ces critères doit être fixée au cas par cas par l'opérateur. La liste des classes nécessaires à la classification des mangroves sur une image masquée inclut les classes suivantes : mangrove dense, mangrove clairsemée, *Rhizophora spp.*, *Avicennia marina*, autres espèces, tanne, forêt dense, savane arborée, savane herbeuse, sol nu, zone urbaine, eau profonde, eau peu profonde, nuage et ombre. L'opérateur pourra adapter le schéma de classification à sa zone d'étude en choisissant les classes nécessaires parmi cette liste.

Références

- Baret, F., Guyot, G. et Major, D. J. (1989). TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation, in *Digest - International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, Publ by IEEE, Vancouver, BC, Can, 1355-1358.
- Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I. et Heynen, M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 58 (3-4): 239-258.
- Blasco, F., Saenger, P. et Janodet, E. (1996). Mangroves as indicators of coastal change. *Catena* 27 (3-4): 167-178.
- Calzadilla Pérez, A., Damen, M. C. J., Geneletti, D. et Hobma, T. W. (2002). Monitoring a recent delta formation in a tropical coastal wetland using remote sensing and GIS - Case study: Guapo River delta, Laguna de Tacarigua, Venezuela. *Environment, Development and Sustainability* 4 (2): 201-219.
- Chaudhury, M. U. (1990). Digital analysis of remote sensing data for monitoring the status of the mangrove forests of Sunderbeans in Bangladesh, in *23rd International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, 493-497.
- Chauvaud, S., Bouchon, C. et Manière, R. (1998). Remote sensing techniques adapted to high resolution mapping of tropical coastal marine ecosystems (coral reefs, seagrass beds and mangrove). *International Journal of Remote Sensing* 19 (18): 3625-3639.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 37 (1): 35-46.
- Cormier-Salem, M.-C. (1999). The mangrove: an area to be cleared... for social scientists. *Hydrobiologia* 413 (0): 135-142.
- Dahdouh-Guebas, F. (2002). The use of remote sensing and GIS in the sustainable management of tropical coastal ecosystems. *Environment, Development and Sustainability* 4 (2): 93-112.
- Duke, N. C., Lawn, P., Roelfsema, C. M., Zahmel, K. M., Pedersen, D., Harris, C., Steggles, N. et Tack, C. (Date inconnue). Historical Coastlines - Assessing Historical Change in Coastal Environments, *University of Queensland, Australia*.
- Dumas, P. (2004). Caractérisation des littoraux insulaires : approche géographique par télédétection et SIG pour une gestion intégrée, Application en Nouvelle-Calédonie. Rapport de thèse présentée à l'Université d'Orléans, Orléans, France. Thèse dirigée par J.-M. Fotsing.
- Dumas, P., Fotsing, J.-M., Bruneau, J. et Huaman, D. (2005). Cartographie du couvert végétal des Iles Loyauté (Nouvelle-Calédonie) à partir des données SPOT 4 (Forest cartography of the Loyalty islands using SPOT 4 images (New-Caledonia)). *Photointerprétation, images et représentations spatiales de l'environnement* 41 (2): 3-12.
- Elvidge, C. D. et Chen, Z. (1995). Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 54 (1): 38-48.

FAO (2003). Status and trends in mangrove area extent worldwide - Part 1: Global overview, in *Forest Resources Assessment Working Paper No. 63*, M. L. Wilkie et S. Fortuna, eds., *Forest Resources Development Service*, Rome.

Fromard, F., Vega, C. et Proisy, C. (2004). Half a century of dynamic coastal change affecting mangrove shorelines of French Guiana. A case study based on remote sensing data analyses and field surveys. *Marine Geology* 208 (2-4): 265-280.

Gao, J. (1999). Evaluation of SPOT HRV data in mapping mangrove forests in a temperate zone. *Geocarto International* 14 (3): 43-50.

Gao, J., Chen, H., Zhang, Y. et Zha, Y. (2004). Knowledge-based approaches to accurate mapping of mangroves from satellite data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 70 (11): 1241-1248.

Gray, D., Zisman, S. et Corves, C. (1990). Mapping of Mangroves in Belize, Technical report, *University of Edinburgh*.

Green, E. P., Clark, C. D., Mumby, P. J., Edwards, A. I. et Ellis, A. C. (1998). Remote sensing techniques for mangrove mapping. *International Journal of Remote Sensing* 19 (5): 935-956.

Hardin, P. J. et Thomson, C. N. (1992). Fast nearest neighbor classification methods for multispectral imagery. *Professional Geographer* 44 (2): 191-202.

Held, A., Ticehurst, C., Lymburner, L. et Williams, N. (2003). High resolution mapping of tropical mangrove ecosystems using hyperspectral and radar remote sensing. *International Journal of Remote Sensing* 24 (13): 2739-2759.

Hirano, A., Madden, M. et Welch, R. (2003). Hyperspectral image data for mapping wetland vegetation. *Wetlands* 23 (2): 436-448.

Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25 (3): 295-309.

Jordan, C. F. (1969). Derivation of leaf area index from quality of light at the forest floor. *Ecology* 50: 663-666.

Keuchel, J., Naumann, S., Heiler, M. et Siegmund, A. (2003). Automatic land cover analysis for Tenerife by supervised classification using remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 86 (4): 530-541.

Kittler, J. et Föglein, J. (1984). Contextual classification of multispectral pixel data. *Image and Vision Computing* 2 (1): 13-29.

Kwassi, E. A., B., B. A., Affian, K. et Djagoua, E. (2005). Utilisation de l'imagerie pour la définition spatiale des mangroves des îles Ehotilé en Côte d'Ivoire (Use of remote sensing for the mangroves mapping of the Ehotilé islands in Ivory Coast). *Geo-Eco-Trop* 29: 51-60.

Liu, C., Frazier, P. et Kumar, L. (2007). Comparative assessment of the measures of thematic classification accuracy. *Remote Sensing of Environment* 107 (4): 606-616.

Loo, M. G. K., Lim, T. M. et Chou, L. M. (1992). Land use changes of recreational island as observed by satellite imagery, in *3rd ASEAN Science and Technology Week, University of Singapore*, Singapore, 401- 405.

Major, D. J., Baret, F. et Guyot, G. (1990). A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. *International Journal of Remote Sensing* 11 (5): 727-740.

Meza Diaz, B. et Blackburn, G. A. (2003). Remote sensing of mangrove biophysical properties: Evidence from a laboratory simulation of the possible effects of background variation on spectral vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing* 24 (1): 53-73.

Murray, M. R., Zisman, S. A., Furley, P. A., Munro, D. M., Gibson, J., Ratter, J., Bridgewater, S., Minty, C. D. et Place, C. J. (2003). The mangroves of Belize Part 1. distribution, composition and classification. *Forest Ecology and Management* 174 (1-3): 265-279.

Rakotoniaina, S., Razafindramasy, F. et Rakotondraompiana, S. (2006). Improving thematic classification accuracy of mangroves area with Landsat ETM+ imagery using ICM contextual method, in *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP*, Frascati, Rome.

Rasolofoharinoro, M., Blasco, F., Bellan, M. F., Aizpuru, M., Gauquelin, T. et Denis, J. (1998). A remote sensing based methodology of mangrove studies in Madagascar. *International Journal of Remote Sensing* 19 (10): 1873-1886.

REBENT (2003). Evaluation du taux de couverture en fucales en zone intertidale à partir d'imagerie SPOT, Annexe 2 : Exemple de traitement d'images SPOT, secteur côtier Paimpol-Trégastel (5 mai 1989 et 7 août 1998) pour l'évaluation de la couverture algale, résultats et commentaires, *IFREMER*, 14 p.

Richardson, A. J. et Weigand, C. L. (1977). Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 43: 1541-1552.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. et Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in Great Plains with ERTS, in *Third ERTS Symposium, NASA SP-351 (Washington, DC)*, Goddard Space Flight Center, 309-317.

Saito, H., Bellan, M. F., Al-Habshi, A., Aizpuru, M. et Blasco, F. (2003). Mangrove research and coastal ecosystem studies with SPOT-4 HRVIR and TERRA ASTER in the Arabian Gulf. *International Journal of Remote Sensing* 24 (21): 4073-4092.

Satyanarayana, B., Thierry, B., Lo Seen, D., Raman, A. V. et Muthusankar, G. (2001). Remote sensing in mangrove research - Relationships between vegetation indices and dendrometric parameters: A case for Coringa, East coast of India, in *22nd Asian Conference on Remote Sensing, Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing*, Singapore.

Souza Filho, P. W. M. et Paradella, W. R. (2002). Recognition of the main geobotanical features along the Braganca mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. *Wetlands Ecology and Management* 10 (2): 123-132.

Story, M. et Congalton, R. G. (1986). Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 52 (3): 397-399.

- Stuckens, J., Coppin, P. R. et Bauer, M. E. (2000). Integrating contextual information with per-pixel classification for improved land cover classification. *Remote Sensing of Environment* 71 (3): 282-296.
- Thollot, P., Albert, F. et Meaille, R. (1990). Cartographie thématique des mangroves du littoral sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie, in *Pix'îles 90, ORSTOM, Nouméa - Tahiti*, 217-229.
- Tou, J. T. et Gonzalez, R. C. (1974). Pattern Recognition Principles, *Addison-Wesley Publishing Company*, Reading, Massachusetts.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8 (2): 127-150.
- Vaiphasa, C., Skidmore, A. K. et de Boer, W. F. (2006). A post-classifier for mangrove mapping using ecological data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 61 (1): 1-10.
- Virly, S. (2007). Typologies et biodiversité des mangroves de Nouvelle-Calédonie, Cartographie des mangroves - Rapport intermédiaire, *Sabrina VIRLY Consultant*, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 51 p.
- Vits, C. et Tack, J. (1995). The use of remote sensing as information source for environmental accounting of coastal areas in Kenya, *University of Ghent*, 1-45.
- Wang, L., Sousa, W. P. et Gong, P. (2004a). Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing* 25 (24): 5655-5668.
- Wang, L., Sousa, W. P., Gong, P. et Biging, G. S. (2004b). Comparison of IKONOS and QuickBird images for mapping mangrove species on the Caribbean coast of Panama. *Remote Sensing of Environment* 91 (3-4): 432-440.
- Wikipedia (2007). Bhattacharyya distance, *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, consulté le 17 juillet 2007, http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Bhattacharyya_distance&oldid=142661902.
- Woodfine, A. C. (1991). North East Sumatra prawn project: Remote sensing component, *Natural Resources Institute/Overseas Development Agency*.

Annexes

Table des annexes

9.1	Typologies des mangroves de Nouvelle-Calédonie utilisées par la cartographie à partir des photographies aériennes	127
9.2	Emprise des images SPOT	129
9.3	Métadonnées des images SPOT	130
9.4	Classifications non supervisées à 50 classes de la zone de Dumbéa	134
9.5	Matrices de confusion en pourcentages et indicateurs de précision des classifications de la zone de Dumbéa	136
9.5.1	Classification par maximum de vraisemblance sur l'image entière	136
9.5.2	Classification supervisée sur l'image masquée	138
9.5.3	Filtrage de la classification par maximum de vraisemblance de l'image masquée	144
9.5.4	Classification par maximum de vraisemblance sur l'image fusionnée masquée	145
9.5.5	Classification par maximum de vraisemblance sur l'image à 5 canaux masquée	146
9.6	Matrices de confusion en pourcentages et indicateurs de précision des classifications de la zone de Moindou	147

Typologies des mangroves de Nouvelle-Calédonie utilisées par la cartographie à partir des photographies aériennes

D'après Virly (2007)

Typologie 1 : Classification botanique simple

Formation à *Rhizophora* spp.
Formation à *Avicennia marina*
Autre formation de mangrove mono ou plurispécifique
Végétation non inféodée à la mangrove
Zone de mangrove convertie
Végétation indéterminée
Tanne nu, vif ou zone envasée avec souches

Typologie 2 : Classification botanique détaillée

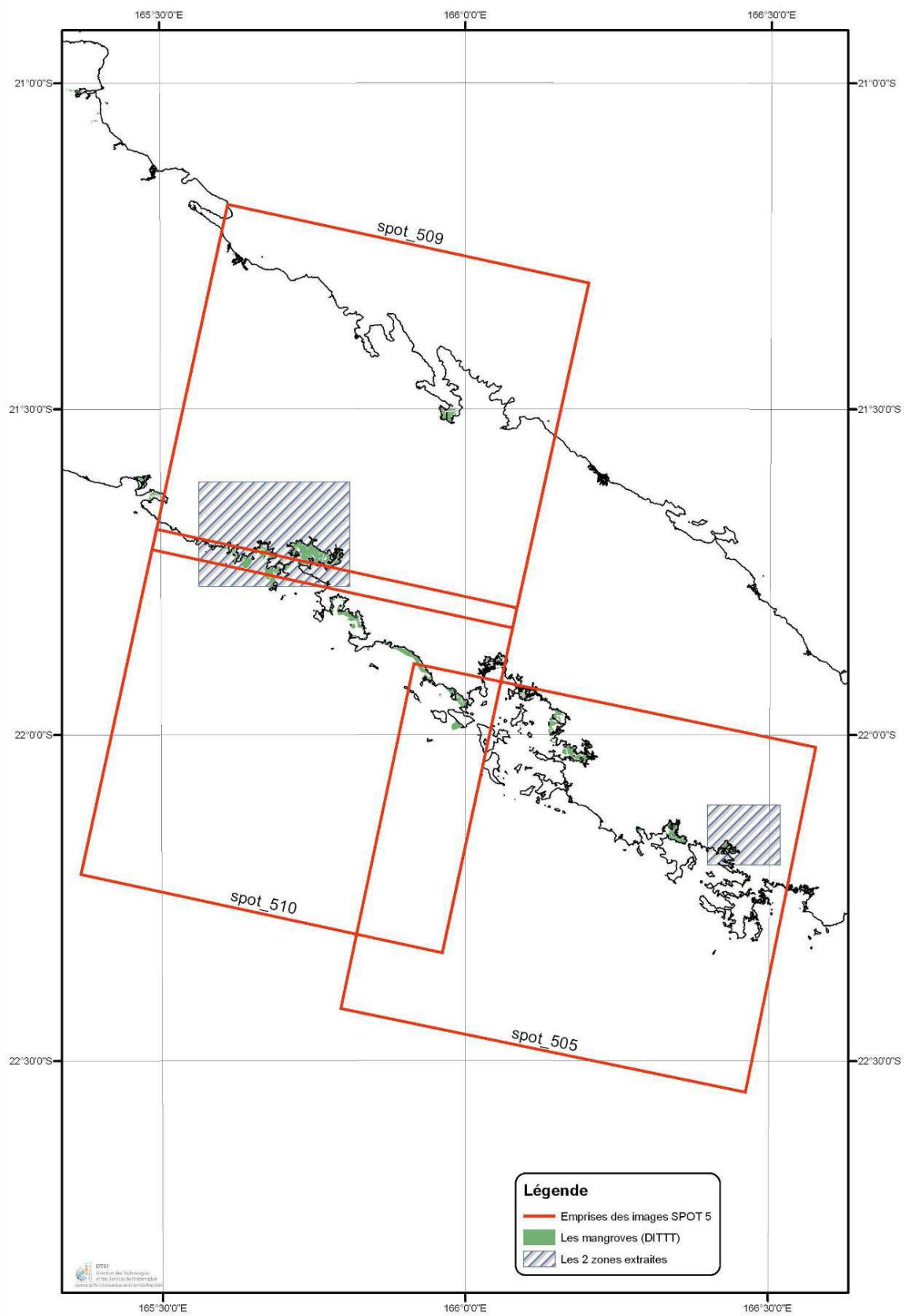
Formation à *Rhizophora* spp.
Rhizophora morts
Formation à *Avicennia marina*
Formation mixte à *Rhizophora* et *Avicennia*
Formation à *Bruguiera gymnorrhiza*
Formation mixte à *Rhizophora* et *Bruguiera*
Formation à *Lumnitzera* spp.
Formation à *Excoecaria agallocha*
Formation à *Ceriops tagal*
Formation mixte interne 1 (principalement *Excoecaria*, *Lumnitzera*, *Heritiera*)
Formation mixte interne 2 (principalement *Bruguiera*, *Acrostichum*, *Xylocarpus*, *Heritiera*, *Acanthus*)
Formation mixte de frange littorale (*Avicennia*, *Sonneratia*, *Rhizophora*)
Végétation non inféodée à la mangrove (savane à niaoulis, acacias, ...)
Prairie à Cypéracées
Végétation indéterminée
Mangrove convertie
Tanne nu
Tanne herbeux ou avec petits arbustes
Tanne avec souches
Zone inondée et/ou envasée

Typologie 3 : Classification botanique et structurale

Formation de *Rhizophora* clairsemé
Formation de *Rhizophora* moyennement dense
Formation de *Rhizophora* dense
Formation à *Avicennia* clairsemé
Formation à *Avicennia* moyennement dense
Formation à *Avicennia* dense

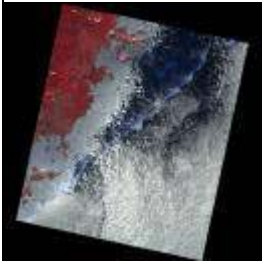
Autre formation clairsemée
Autre formation moyennement dense
Autre formation dense
Végétation clairsemée non inféodée à la mangrove
Végétation moyennement dense non inféodée à la mangrove
Végétation dense non inféodée à la mangrove
Mangrove convertie
Végétation indéterminée clairsemée
Végétation indéterminée moyennement dense
Végétation indéterminée dense
Tanne nu, vif ou zone envasée avec ou sans souche, clairsemé
Tanne avec arbustes clairsemés

Emprise des images SPOT



Métadonnées des images SPOT

Image SPOT_505 XS

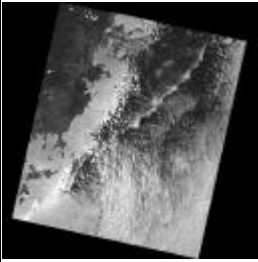
	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 414-394/5 04/11/11 23:23:43 1 J
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

Map Name	SCENE 5 414-394/5 04/11/11 23:23:43 1 J
Geometric Processing Level	PRECISION 1A
Radiometric Processing Level	SYSTEM

<i>Image dimensions</i>	
Number of columns	8088
Number of rows	7318
Number of spectral bands	4

<i>Dataset framing</i>				
Vertice	Longitude (°)	Latitude (°)	Row	Column
#1	165.904489	-21.947505	1	1282
#2	166.564699	-22.074684	1464	8086
#3	166.450392	-22.604388	7317	6850
#4	165.783374	-22.476600	5851	1

Image SPOT_505 P

	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 414-394/5 04/11/11 23:23:40 1 A
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

Map Name	SCENE 5 414-394/5 04/11/11 23:23:40 1 A
Geometric Processing Level	PRECISION 1A
Radiometric Processing Level	SYSTEM

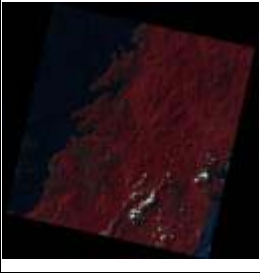
Image dimensions

Number of columns	16152
Number of rows	14740
Number of spectral bands	1

Dataset framing

Vertice	Longitude (°)	Latitude (°)	Row	Column
#1	165.905570	-21.944589	1	2563
#2	166.564895	-22.076289	3027	16152
#3	166.450494	-22.606310	14740	13678
#4	165.784461	-22.473775	11703	1

Image SPOT_509 XS

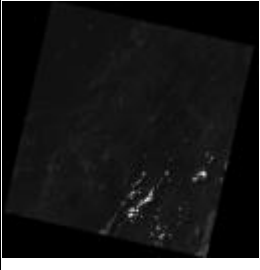
	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 413-393 05/06/02 23:18:06 2 J
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

Map Name	SCENE 5 413-393 05/06/02 23:18:06 2 J
Geometric Processing Level	PRECISION 1A
Radiometric Processing Level	SYSTEM

Image dimensions	
Number of columns	7444
Number of rows	7222
Number of spectral bands	4

Dataset framing			
Vertice	Longitude (°)	Latitude (°)	Row
#1	165.611248	-21.186703	1
#2	166.201675	-21.307482	1373
#3	166.077554	-21.836533	7220
#4	165.485543	-21.715744	5852
			1

Image SPOT_509 P

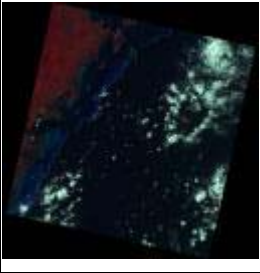
	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 413-393 05/06/02 23:18:04 1 A
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

Map Name	SCENE 5 413-393 05/06/02 23:18:04 1 A
Geometric Processing Level	PRECISION 2A
Radiometric Processing Level	SYSTEM

Image dimensions	
Number of columns	14877
Number of rows	14491
Number of spectral bands	1

Dataset framing			
Vertice	Longitude (°)	Latitude (°)	Row
#1	165.611585	-21.185595	1
#2	166.201593	-21.308724	2797
#3	166.077423	-21.837775	14491
#4	165.485882	-21.714772	11706
			1

Image SPOT_510 XS

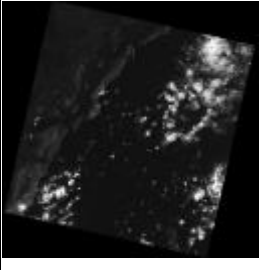
	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 413-394 05/06/02 23:18:15 1 J
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

Map Name	SCENE 5 413-394 05/06/02 23:18:15 1 J
Geometric Processing Level	PRECISION 2A
Radiometric Processing Level	SYSTEM

Image dimensions	
Number of columns	7434
Number of rows	7220
Number of spectral bands	4

Dataset framing			
Vertice	Longitude (°)	Latitude (°)	Row
#1	165.492962	-21.684822	1
#2	166.084657	-21.805590	1369
#3	165.961699	-22.334725	7218
#4	165.366718	-22.213848	5853
			1

Image SPOT_510 P

	Type	Spot SYSTEM SCENE level 1A
	Layer	SCENE 5 413-394 05/06/02 23:18:13 1 A
	Format	DIMAP
	Raster	GEOTIFF

Map Name	SCENE 5 413-394 05/06/02 23:18:13 1 A
Geometric Processing Level	PRECISION 2A
Radiometric Processing Level	SYSTEM

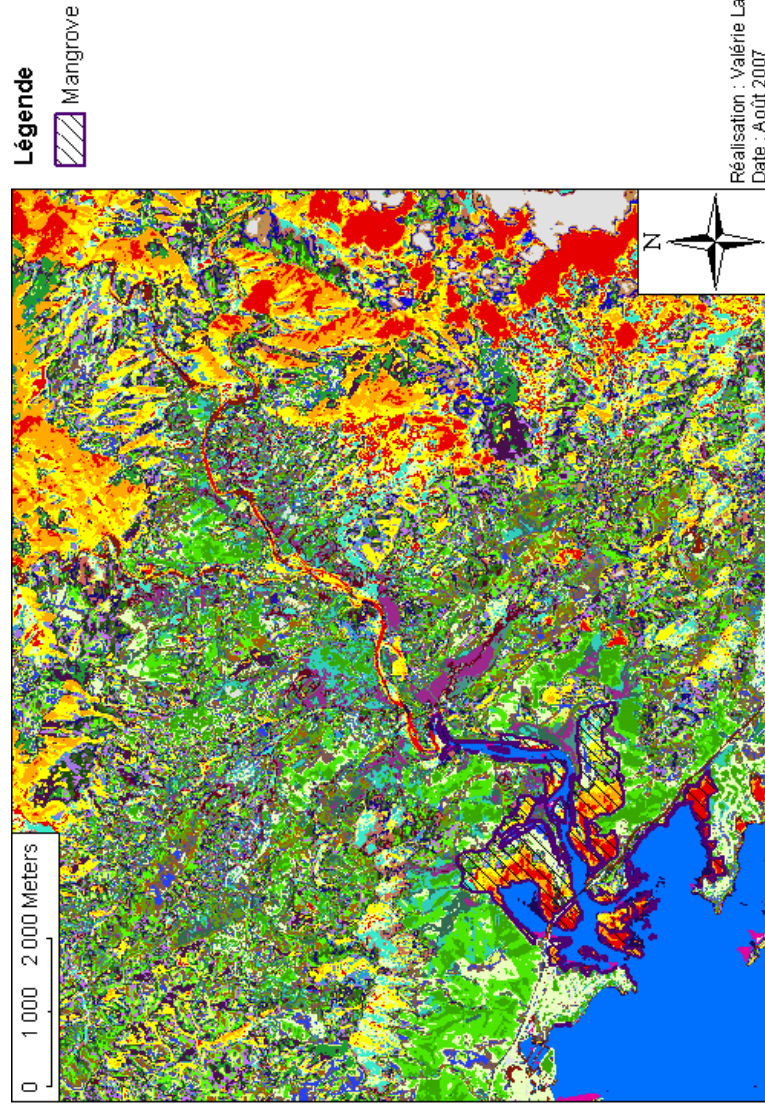
Image dimensions	
Number of columns	14857
Number of rows	14490
Number of spectral bands	1

Dataset framing			
Vertice	Longitude (°)	Latitude (°)	Row
#1	165.493201	-21.684102	1
#2	166.084523	-21.807084	2786
#3	165.961420	-22.336446	14489
#4	165.366958	-22.213172	11706
			1

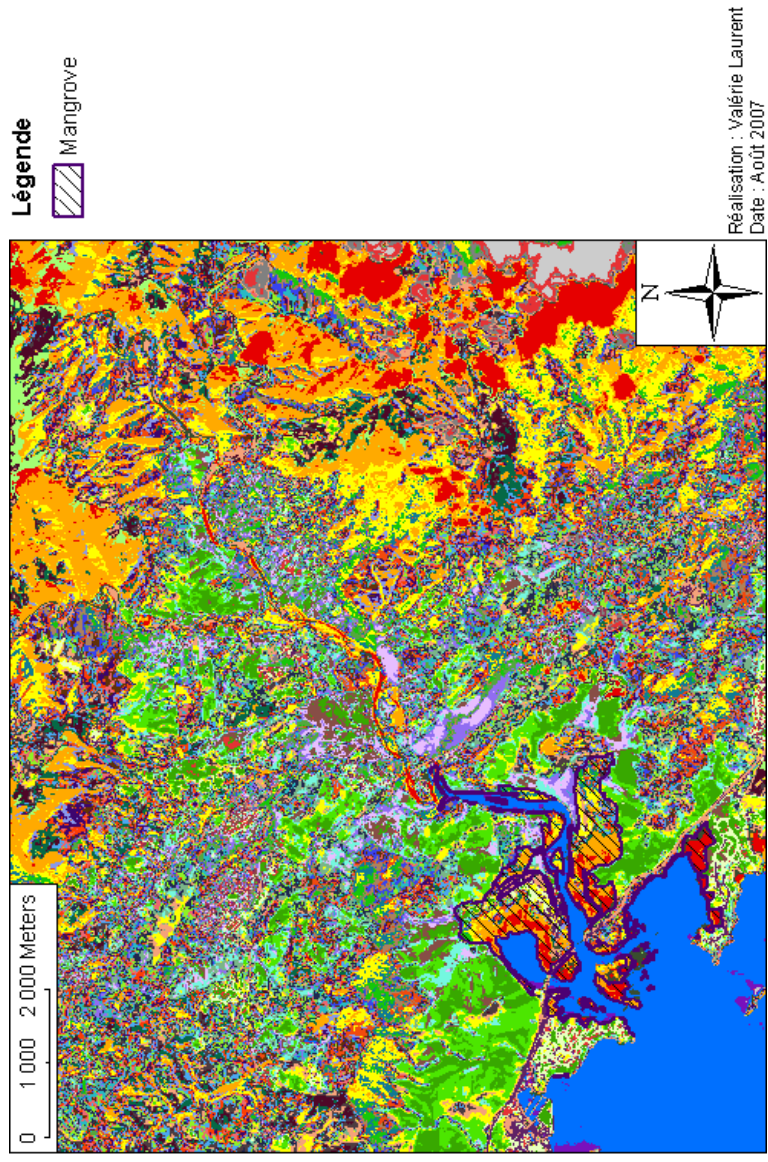
Classifications non supervisées à 50 classes de la zone de Dumbéa

Sur les deux cartes ci-dessous, chaque classe est représentée par une couleur. Les classes correspondant aux formations de mangrove ont été représentées dans des tons rouge-orange.

IsoData



K-Means



Matrices de confusion en pourcentages et indicateurs de précision des classifications de la zone de Dumbéa

Classification par maximum de vraisemblance sur l'image entière

Classification par densité

		Vérité terrain												
		Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Forêt dense	Maquis	Savane arborée	Savane herbeuse	Sol nu	Zone urbaine	Eau	Nuage	Ombre	Total
Classification	Mangrove dense	51	2	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	Mangrove clairsemée	26	77	9	2	0	1	0	0	1	0	0	3	4
	Tanne	0	0	39	0	0	0	0	23	0	0	0	0	2
	Forêt dense	12	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0	20
	Maquis	9	1	0	1	97	4	0	0	0	0	0	0	9
	Savane arborée	1	16	6	0	2	95	2	0	0	0	0	0	7
	Savane herbeuse	0	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	13
	Sol nu	0	3	44	0	0	0	0	77	7	0	0	0	4
	Zone urbaine	1	0	1	0	0	1	2	0	88	0	57	0	6
	Eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	12
	Nuage	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	43	0	3
	Ombre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	14
Total		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 86 %

Classe	Erreur (%)			Précision (%)	
	Commission	Omission		Producteur	Utilisateur
Mangrove dense	62	49		51	38
Mangrove clairsemée	53	23		77	47
Tanne	47	61		39	53
Forêt dense	2	17		83	98
Maquis	9	3		97	91
Savane arborée	15	5		95	85
Savane herbeuse	0	4		96	100
Sol nu	33	23		77	67
Zone urbaine	63	12		88	37
Eau	0	0		100	100
Nuage	3	57		43	97
Ombre	0	3		97	100

Classification par espèce

Vérité terrain															
	Rhizophora ssp.	Avicennia marina	Autres espèces	Tanne	Forêt dense	Maquis	Savane arborée	Savane herbeuse	Sol nu	Zone urbaine	Eau	Nuage	Ombre	Total	
Classification	Rhizophora ssp.	64	5	32	4	3	1	0	0	0	0	0	0	9,57	
	Avicennia marina	28	74	25	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5,95	
	Autres espèces	7	11	24	3	12	3	0	0	0	0	0	0	5,39	
	Tanne	0	1	1	49	0	0	0	36	0	0	0	0	2,35	
	Forêt dense	0	0	7	0	85	0	0	0	0	0	0	0	17,52	
	Maquis	0	0	5	0	1	95	4	0	0	0	0	0	7,58	
	Savane arborée	0	0	4	6	0	95	2	0	1	0	0	0	6,28	
	Savane herbeuse	0	0	0	1	0	0	95	0	0	0	0	0	11,39	
	Sol nu	0	9	1	34	0	0	0	64	8	0	0	0	3,3	
	Zone urbaine	1	0	1	3	0	0	1	3	0	87	1	56	0	5,35
	Eau	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	0	0	10,34
	Nuage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	44	0	2,28
	Ombre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	12,7
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
<i>Rhizophora ssp.</i>	35	36	64	65
<i>Avicennia marina</i>	82	26	74	18
Autres espèces	64	76	24	36
Tanne	53	51	49	47
Forêt dense	3	15	85	97
Maquis	10	5	95	90
Savane arborée	14	5	95	86
Savane herbeuse	0	5	95	100
Sol nu	36	36	64	64
Zone urbaine	65	13	87	35
Eau	0	1	99	100
Nuage	3	56	44	97
Ombre	0	1	99	100

Précision globale : 80 %

Classification supervisée sur l'image masquée

Classifications par densité

Parallélépipède

		Vérité terrain							Total
		Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	
Classification	Mangrove dense	72	24	0	91	0	0	0	22
	Mangrove clairsemée	24	58	8	5	0	0	0	9
	Tanne	0	2	57	0	0	0	0	5
	Forêt dense	0	0	0	3	0	0	0	0
	Savane herbeuse	0	7	4	1	89	0	0	18
	Sol nu	0	0	11	0	2	99	0	7
	Eau	0	0	0	0	0	0	100	35
	Non classifié	4	9	20	1	9	1	0	5
Total		100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 75 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
Mangrove dense	64	28	72	36
Mangrove clairsemée	46	42	58	54
Tanne	4	43	57	96
Forêt dense	0	97	3	100
Savane herbeuse	6	11	89	94
Sol nu	18	1	99	82
Eau	0	0	100	100

Distance minimale

		Vérité terrain							Total
		Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	
Classification	Mangrove dense	36	1	0	54	0	0	0	11
	Mangrove clairsemée	37	73	12	8	0	0	0	12
	Tanne	1	19	75	0	0	29	0	9
	Forêt dense	25	6	0	39	0	0	0	9
	Savane herbeuse	0	0	1	0	58	0	0	11
	Sol nu	0	0	12	0	42	71	0	13
	Eau	0	0	0	0	0	0	100	35
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 71 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
Mangrove dense	64	64	36	36
Mangrove clairsemée	51	27	73	49
Tanne	37	25	75	63
Forêt dense	39	61	39	61
Savane herbeuse	1	43	58	99
Sol nu	68	29	71	32
Eau	0	0	100	100

Distance de Mahalanobis

		Vérité terrain							Total
		Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	
Classification	Mangrove dense	30	1	0	46	0	0	0	10
	Mangrove clairsemée	40	77	15	8	0	1	0	13
	Tanne	0	6	68	0	0	20	0	7
	Forêt dense	29	5	0	46	0	0	0	10
	Savane herbeuse	0	10	3	0	86	1	0	17
	Sol nu	0	1	14	0	14	76	0	8
	Eau	0	0	0	0	0	2	100	35
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 76 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
Mangrove dense	65	70	30	35
Mangrove clairsemée	51	23	77	49
Tanne	25	32	68	75
Forêt dense	38	54	46	62
Savane herbeuse	7	14	86	94
Sol nu	47	24	76	53
Eau	1	0	100	100

Maximum de vraisemblance

		Vérité terrain							Total
		Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	
Classification	Mangrove dense	47	3	0	39	0	0	0	11
	Mangrove clairsemée	28	86	9	6	0	0	0	12
	Tanne	0	0	43	0	0	0	0	3
	Forêt dense	21	1	0	54	0	0	0	10
	Savane herbeuse	0	5	2	2	99	0	0	19
	Sol nu	5	5	46	0	1	100	1	11
	Eau	0	0	0	0	0	0	99	35
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 82 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
Mangrove dense	51	53	47	49
Mangrove clairsemée	40	14	86	60
Tanne	0	57	43	100
Forêt dense	25	46	54	75
Savane herbeuse	4	1	99	96
Sol nu	45	0	100	55
Eau	0	1	99	100

Angle spectral

		Vérité terrain							Total
		Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	
Classification	Mangrove dense	41	5	0	53	0	0	0	12
	Mangrove clairsemée	20	65	2	2	0	0	0	8
	Tanne	0	1	80	0	13	8	0	9
	Forêt dense	27	1	0	44	0	0	0	9
	Savane herbeuse	8	25	2	1	60	0	0	14
	Sol nu	1	2	6	0	27	92	0	11
	Eau	4	0	10	0	0	0	100	36
	Non classifié	0	0	0	0	0	1	0	0
Total		100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 73 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
Mangrove dense	62	59	41	38
Mangrove clairsemée	33	35	65	67
Tanne	32	20	80	68
Forêt dense	35	56	44	65
Savane herbeuse	22	40	60	78
Sol nu	51	8	92	49
Eau	4	0	100	96

Classification par espèce

Parallélépipède

		Vérité terrain								
		<i>Rhizo- phora ssp.</i>	<i>Avicennia marina</i>	Autres espèces	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	Total
Classification	<i>Rhizophora ssp.</i>	95	81	88	4	99	0	0	0	50
	<i>Avicennia marina</i>	2	8	7	6	0	0	0	0	2
	Autres espèces	0	1	1	1	1	0	0	0	0
	Tanne	0	6	1	58	0	0	0	0	3
	Forêt dense	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Savane herbeuse	1	3	1	19	0	100	11	0	15
	Sol nu	0	0	1	7	0	0	89	9	6
	Eau	0	0	0	0	0	0	0	89	21
	Non classifié	1	0	2	5	0	0	0	3	1
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 63 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
<i>Rhizophora ssp.</i>	57	5	95	43
<i>Avicennia marina</i>	89	92	8	11
Autres espèces	65	99	1	35
Tanne	9	42	58	91
Forêt dense	0	100	0	0
Savane herbeuse	13	0	100	87
Sol nu	43	11	89	57
Eau	0	11	89	100

Distance minimale

		Vérité terrain								
		<i>Rhizo- phora ssp.</i>	<i>Avicennia marina</i>	Autres espèces	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	Total
Classification	<i>Rhizophora ssp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Avicennia marina</i>	85	88	50	12	1	0	0	0	32
	Autres espèces	15	1	34	0	31	0	0	0	13
	Tanne	0	10	5	75	0	0	29	0	6
	Forêt dense	0	0	11	0	68	0	0	0	8
	Savane herbeuse	0	0	0	1	0	58	0	0	8
	Sol nu	0	0	0	12	0	42	71	0	9
	Eau	0	0	0	0	0	0	0	100	24
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 54 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
<i>Rhizophora ssp.</i>	0	100	0	0
<i>Avicennia marina</i>	91	12	88	9
Autres espèces	51	66	34	49
Tanne	39	25	75	61
Forêt dense	24	32	68	76
Savane herbeuse	1	42	58	99
Sol nu	68	29	71	32
Eau	1	0	100	99

Distance de Mahalanobis

		Vérité terrain								
		<i>Rhizo- phora ssp.</i>	<i>Avicennia marina</i>	Autres espèces	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	Total
Classification	<i>Rhizophora ssp.</i>	25	3	14	0	5	1	0	0	9
	<i>Avicennia marina</i>	34	81	35	6	1	1	1	7	19
	Autres espèces	32	0	21	0	25	0	0	0	13
	Tanne	0	2	0	56	0	0	26	2	5
	Forêt dense	6	0	21	0	68	1	0	0	12
	Savane herbeuse	3	8	8	9	1	79	2	0	13
	Sol nu	0	6	1	27	0	17	68	0	7
	Eau	0	0	1	1	0	0	3	91	22
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 56 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
<i>Rhizophora ssp.</i>	36	75	25	64
<i>Avicennia marina</i>	86	19	81	14
Autres espèces	72	79	21	28
Tanne	36	44	56	64
Forêt dense	45	32	68	55
Savane herbeuse	23	21	79	77
Sol nu	60	32	68	40
Eau	1	9	91	99

Maximum de vraisemblance

		Vérité terrain								
		<i>Rhizo- phora ssp.</i>	<i>Avicennia marina</i>	Autres espèces	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	Total
Classification	<i>Rhizophora ssp.</i>	67	6	33	4	14	0	0	0	23
	<i>Avicennia marina</i>	27	81	30	4	0	1	0	0	15
	Autres espèces	4	6	21	4	20	0	0	0	7
	Tanne	0	0	1	43	0	0	0	0	2
	Forêt dense	0	0	12	0	64	0	0	0	8
	Savane herbeuse	0	0	0	1	2	98	0	0	13
	Sol nu	2	7	4	43	0	1	100	1	8
	Eau	0	0	0	0	0	0	0	99	24
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 71 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
<i>Rhizophora ssp.</i>	34	33	67	66
<i>Avicennia marina</i>	82	19	81	18
Autres espèces	46	79	21	54
Tanne	4	57	43	96
Forêt dense	26	36	64	74
Savane herbeuse	2	2	98	98
Sol nu	50	0	100	50
Eau	0	1	99	100

Angle spectral

		Vérité terrain								
		<i>Rhizo- phora ssp.</i>	<i>Avicennia marina</i>	Autres espèces	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	Total
Classification	<i>Rhizophora ssp.</i>	44	17	25	0	3	0	0	0	16
	<i>Avicennia marina</i>	36	72	26	2	0	8	0	0	16
	Autres espèces	15	0	24	0	31	1	0	0	11
	Tanne	0	10	4	85	0	73	10	0	16
	Forêt dense	1	0	15	0	65	0	0	0	9
	Savane herbeuse	0	0	3	0	0	18	0	0	3
	Sol nu	0	0	0	3	0	0	90	0	4
	Eau	1	0	1	8	0	0	0	100	25
	Non classifié	2	0	1	2	0	0	0	0	1
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

		Erreur (%)		Précision (%)	
Classe		Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
<i>Rhizophora ssp.</i>		35	56	44	65
<i>Avicennia marina</i>		86	28	72	14
Autres espèces		60	76	24	40
Tanne		71	15	85	29
Forêt dense		32	35	65	68
Savane herbeuse		19	82	18	81
Sol nu		4	10	90	96
Eau		4	0	100	96

Précision globale : 57 %

Filtrage de la classification par maximum de vraisemblance de l'image masquée

Classification par densité

		Vérité terrain							Total
		Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	
Classification	Mangrove dense	46	3	0	34	0	0	0	10
	Mangrove clairsemée	27	88	9	5	0	0	0	12
	Tanne	0	0	42	0	0	0	0	3
	Forêt dense	22	0	0	60	0	0	0	11
	Savane herbeuse	0	5	1	1	99	0	0	19
	Sol nu	5	5	48	0	1	100	1	11
	Eau	0	0	0	0	0	0	100	35
Total		100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 83 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
Mangrove dense	48	54	46	52
Mangrove clairsemée	39	12	88	61
Tanne	0	59	42	100
Forêt dense	23	40	60	77
Savane herbeuse	3	1	99	97
Sol nu	46	0	100	54
Eau	0	1	100	100

Classification par espèce

		Vérité terrain							Total
		<i>Rhizophora ssp.</i>	<i>Avicennia marina</i>	Autres espèces	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	
Classification	<i>Rhizophora ssp.</i>	70	4	34	4	10	0	0	23
	<i>Avicennia marina</i>	26	85	31	3	0	1	0	15
	Autres espèces	2	4	19	3	20	0	0	6
	Tanne	0	0	0	41	0	0	0	2
	Forêt dense	0	0	12	0	69	0	0	9
	Savane herbeuse	0	0	0	1	1	99	0	13
	Sol nu	2	7	4	47	0	1	100	8
	Eau	0	0	0	0	0	0	0	24
Total		100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 71 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
<i>Rhizophora ssp.</i>	32	30	70	68
<i>Avicennia marina</i>	81	15	85	19
Autres espèces	43	81	19	57
Tanne	4	59	41	96
Forêt dense	25	31	69	75
Savane herbeuse	1	1	99	99
Sol nu	52	0	100	48
Eau	0	1	100	100

Classification par maximum de vraisemblance sur l'image fusionnée masquée

Classification par densité

		Vérité terrain							Total
		Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	
Classification	Mangrove dense	47	3	0	37	0	0	0	11
	Mangrove clairsemée	27	90	11	5	1	0	0	12
	Tanne	0	0	47	0	0	0	0	4
	Forêt dense	22	1	0	57	0	0	0	10
	Savane herbeuse	0	4	0	1	98	0	0	19
	Sol nu	4	2	42	0	1	100	0	10
	Eau	0	0	0	0	0	0	100	35
Total		100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 83 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
Mangrove dense	50	53	47	50
Mangrove clairsemée	39	10	90	61
Tanne	0	53	47	100
Forêt dense	25	43	57	75
Savane herbeuse	3	2	98	97
Sol nu	41	0	100	59
Eau	0	0	100	100

Classification par espèce

		Vérité terrain							Total
		<i>Rhizophora ssp.</i>	<i>Avicennia marina</i>	Autres espèces	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	
Classification	<i>Rhizophora ssp.</i>	69	5	34	4	15	0	0	24
	<i>Avicennia marina</i>	26	82	29	3	0	2	0	14
	Autres espèces	4	7	23	5	19	0	0	7
	Tanne	0	0	0	47	0	0	0	3
	Forêt dense	0	0	10	0	64	0	0	8
	Savane herbeuse	0	0	0	0	1	97	0	12
	Sol nu	1	6	3	39	0	1	100	7
	Eau	0	0	0	0	0	0	0	24
Total		100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 71 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
<i>Rhizophora ssp.</i>	34	31	69	66
<i>Avicennia marina</i>	82	18	82	18
Autres espèces	43	77	23	57
Tanne	2	53	47	98
Forêt dense	24	36	64	76
Savane herbeuse	1	3	97	99
Sol nu	45	0	100	55
Eau	0	0	100	100

Classification par maximum de vraisemblance sur l'image à 5 canaux masquée

Classification par densité

		Vérité terrain							Total
		Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	Eau	
Classification	Mangrove dense	53	2	0	42	0	0	0	12
	Mangrove clairsemée	28	85	8	6	1	0	0	12
	Tanne	0	0	52	0	0	0	0	4
	Forêt dense	18	1	0	50	0	0	0	9
	Savane herbeuse	0	3	0	2	97	0	0	19
	Sol nu	1	9	40	0	2	100	0	10
	Eau	0	0	0	0	0	0	100	35
Total		100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 82 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
Mangrove dense	49	47	53	51
Mangrove clairsemée	40	15	85	60
Tanne	0	48	52	100
Forêt dense	23	50	50	77
Savane herbeuse	3	3	97	97
Sol nu	43	0	100	57
Eau	0	0	100	100

Classification par espèce

		Vérité terrain							Total
		<i>Rhizophora ssp.</i>	<i>Avicennia marina</i>	Autres espèces	Tanne	Forêt dense	Savane herbeuse	Sol nu	
Classification	<i>Rhizophora ssp.</i>	72	2	29	4	11	0	0	23
	<i>Avicennia marina</i>	21	80	30	1	1	0	0	13
	Autres espèces	5	6	22	1	23	0	0	8
	Tanne	0	0	0	52	0	0	0	3
	Forêt dense	0	0	14	0	64	0	0	9
	Savane herbeuse	0	0	0	0	1	97	0	13
	Sol nu	2	11	5	41	0	2	100	8
	Eau	0	0	0	0	0	0	0	24
Total		100	100	100	100	100	100	100	100

Précision globale : 72 %

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
<i>Rhizophora ssp.</i>	29	28	72	71
<i>Avicennia marina</i>	80	20	80	20
Autres espèces	48	78	22	52
Tanne	2	48	52	98
Forêt dense	31	36	64	69
Savane herbeuse	1	3	97	99
Sol nu	51	0	100	49
Eau	0	0	100	100

Matrices de confusion en pourcentages et indicateurs de précision des classifications de la zone de Moindou

Classification par densité de l'image SPOT_509

Classification	Vérité terrain										
	Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Forêt dense	Savane arborée	Savane herbeuse	Sol nu	Eau profonde	Eau peu profonde	Nuage	Ombre
Mangrove dense	91	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mangrove clairsemée	7	49	35	0	2	0	1	0	2	0	8
Tanne	2	31	44	0	0	0	7	0	7	0	0
Forêt dense	0	0	0	93	14	0	0	0	0	0	0
Savane arborée	0	0	5	6	79	47	1	0	0	0	0
Savane herbeuse	0	1	1	0	6	53	4	0	0	0	0
Sol nu	0	1	2	0	0	0	51	0	0	0	1
Eau profonde	0	0	0	0	0	0	0	88	20	0	0
Eau peu profonde	0	1	7	0	0	0	32	2	71	0	1
Nuage	0	3	8	0	0	0	5	10	0	100	1
Ombre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
Mangrove dense	20	9	91	80
Mangrove clairsemée	77	51	49	23
Tanne	76	56	44	24
Forêt dense	9	7	93	91
Savane arborée	49	21	79	51
Savane herbeuse	13	47	53	87
Sol nu	13	49	51	87
Eau profonde	8	12	88	92
Eau peu profonde	16	29	71	84
Nuage	24	0	100	76
Ombre	0	10	90	100

Précision globale : 84 %

Classification par densité de l'image SPOT_510

	Vérité terrain										
	Mangrove dense	Mangrove clairsemée	Tanne	Savane arborée	Savane herbeuse	Sol nu	Eau profonde	Eau peu profonde	Nuage	Ombre	Total
Classification	Mangrove dense	92	14	0	1	0	0	0	0	0	1
	Mangrove clairsemée	7	48	33	4	0	0	0	2	0	2
	Tanne	2	26	37	0	1	5	0	5	10	3
	Savane arborée	0	0	4	91	28	0	0	0	0	5
	Savane herbeuse	0	1	1	4	61	1	0	0	0	3
	Sol nu	0	8	19	0	9	91	0	0	8	2
	Eau profonde	0	0	0	0	0	0	92	13	0	48
	Eau peu profonde	0	1	4	0	0	3	3	79	1	15
	Nuage	0	1	1	0	0	0	5	0	81	7
	Ombre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Classe	Erreur (%)			Précision (%)		
	Commission	Omission		Producteur	Utilisateur	
Mangrove dense	22	8		92	78	
Mangrove clairsemée	59	52		48	41	
Tanne	81	63		37	19	
Forêt dense	30	9		91	70	
Savane arborée	7	39		61	93	
Savane herbeuse	57	9		91	43	
Sol nu	5	8		92	95	
Eau profonde	12	21		79	88	
Eau peu profonde	34	19		81	66	
Nuage	0	5		95	100	
Ombre	22	8		92	78	

Précision globale : 87 %

Classification par espèce de l'image SPOT_509

	Vérité terrain												
	Rhizophora ssp.	Avicennia marina	Autres espèces	Tanne	Forêt dense	Savane arborée	Savane herbeuse	Sol nu	Eau profonde	Eau peu profonde	Nuage	Ombre	Total
Classification	Rhizophora ssp.	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Avicennia marina	11	98	12	13	1	0	0	2	0	0	1	2
	Autres espèces	0	0	35	5	1	6	1	1	0	0	0	0
	Tanne	0	2	0	63	0	0	0	6	0	8	0	2
	Forêt dense	0	0	0	0	92	14	0	0	0	0	0	5
	Savane arborée	0	0	35	3	6	75	46	0	0	0	0	5
	Savane herbeuse	0	0	19	1	0	5	53	4	0	0	0	3
	Sol nu	0	0	0	2	0	0	0	51	0	0	1	1
	Eau profonde	0	0	0	0	0	0	0	88	20	0	0	34
	Eau peu profonde	0	0	0	7	0	0	0	32	2	71	0	11
	Nuage	0	0	0	7	0	0	0	5	10	0	100	17
	Ombre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	18
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Classe	Erreur (%)			Précision (%)	
	Commission	Omission		Producteur	Utilisateur
Rhizophora ssp.	0	12		88	100
Avicennia marina	45	2		98	55
Autres espèces	96	65		35	4
Tanne	64	37		63	36
Forêt dense	9	8		92	91
Savane arborée	50	25		75	50
Savane herbeuse	12	47		53	88
Sol nu	14	49		51	86
Zone urbaine	8	12		88	92
Eau	17	29		71	83
Nuage	29	0		100	71
Ombre	0	10		90	100

Précision globale : 85 %

Classification par espèce de l'image SPOT_510

		Vérité terrain											Total
		Rhizophora ssp.	Avicennia marina	Autres espèces	Tanne	Savane arborée	Savane herbeuse	Sol nu	Eau profonde	Eau peu profonde	Nuage	Ombre	
Classification	Rhizophora ssp.	89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Avicennia marina	11	98	12	13	5	0	0	0	1	0	0	2
	Autres espèces	0	0	35	5	7	4	1	0	0	0	0	1
	Tanne	0	1	0	55	0	0	4	0	6	10	0	2
	Savane arborée	0	0	50	2	84	26	0	0	0	0	0	4
	Savane herbeuse	0	0	4	1	4	60	1	0	0	0	0	3
	Sol nu	0	0	0	19	0	9	90	0	0	8	0	2
	Eau profonde	0	0	0	0	0	0	0	92	13	0	1	48
	Eau peu profonde	0	0	0	4	0	0	3	3	80	1	1	15
	Nuage	0	0	0	1	0	0	0	5	0	81	2	7
	Ombre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	13
	Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Classe	Erreur (%)		Précision (%)	
	Commission	Omission	Producteur	Utilisateur
Rhizophora ssp.	1	11	89	99
Avicennia marina	44	2	98	56
Autres espèces	97	65	35	3
Tanne	70	45	55	30
Savane arborée	29	16	84	71
Savane herbeuse	6	40	60	94
Sol nu	54	10	90	46
Zone urbaine	5	8	92	95
Eau	12	20	80	88
Nuage	35	19	81	65
Ombre	0	5	95	100

Précision globale : 88 %

**Cartographie des mangroves de Nouvelle-Calédonie –
*Identification par photo interprétation et acquisition de
données sur le terrain -***



Sabrina Virly

Décembre 2007

Sabrina Virly Consultant en partenariat avec Damien Buisson et la DTSI

Sommaire

1. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	154
1.1. Approches méthodologiques.....	154
1.2. Typologies étudiées.....	155
1.2.1. En fonction de caractères géomorphologiques.....	155
1.2.2. En fonction du type de formation ou physiographie	156
1.2.3. En fonction de caractères structuraux	157
1.2.4. En fonction du faciès botanique	157
1.2.5. Classifications envisagées dans le cadre de l'étude	158
2. METHODOLOGIE	160
2.1. Investigations de terrain	160
2.1.1. Zones échantillonnées	160
2.1.2. Description qualitative de la structure de la mangrove	160
2.2. Acquisition, traitements et analyses des photographies aériennes.....	164
2.2.1. Acquisition et tri.....	164
2.2.1.1. Origine des photographies.....	164
2.2.1.2. Nombre et qualité des données photographiques	165
2.2.2. Numérisation et géoréférencement.....	166
2.2.3. Photo-interprétations	177
2.2.3.1. Création d'une base de données géographiques.....	177
2.2.3.2. Typologie basée sur le faciès botanique et la structure	177
2.2.3.3. Typologie relative à la physiographie	189
2.2.4. Archivage	189
3. RESULTATS	190
3.1. Localisation des mangroves de Nouvelle-Calédonie	190
3.1.1. Superficie totale	190
3.1.2. Distribution Est/Ouest.....	190
3.1.3. Répartition provinciale.....	191
3.2. Type de mangroves en Nouvelle-Calédonie	192
3.3. Taille des formations.....	192
3.4. Classification botanique simple et structurale	193
3.4.1. Présentation de l'atlas.....	193
3.4.2. Répartition des formations végétales	194
4. CONCLUSION.....	195
5. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	197
6. ANNEXES.....	199

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Les diverses informations utilisées pour sélectionner d'une part, les méthodes de traitement à partir de photographies aériennes, d'autre part, les différentes typologies des mangroves applicables au contexte calédonien, ont été synthétisées à partir de publications ou rapports disponibles dans les bibliothèques de l'IRD de Nouméa, du Service Géomatique et Télédétection de la DTSI à Nouméa, de l'Université du Queensland à Brisbane (QLD) et de l'Université « Southern Cross » à Lismore (NSW).

Des recherches sur internet ont complété la revue bibliographique ; des conseils et des avis d'experts ont été recueillis auprès de spécialistes de la mangrove et/ou du traitement de photographies aériennes (Barry Clough, Norman Duke, François Fromard, Peter Saenger).

Approches méthodologiques

Les approches méthodologiques recherchées ont concerné aussi bien les études de la mangrove sur le terrain que les méthodes de traitement et d'analyse de données photographiques et cartographiques.

Un certain nombre de références ont été rassemblées concernant les géo-traitements de photographies aériennes, leur intérêt et leur efficacité en fonction des objectifs de l'étude et des caractéristiques des images (couleur, résolution, échelle, etc.).

Un ouvrage de l'UNESCO, qui consacre un chapitre sur l'utilisation de la télédétection pour la gestion des zones côtières littorales, notamment de la mangrove, compare les différentes méthodes de cartographies des mangroves et les diverses sources de données utilisées dans le monde, en terme de précision et de nombre de classes botaniques identifiées. Il en conclut que le CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) offre les meilleurs résultats quant il s'agit de discriminer les habitats au sein d'une mangrove à une échelle fine, jusqu'à 9 habitats différents (Green et al, 2000). Toutefois l'acquisition de telles données est chère même si le traitement a posteriori peut être automatisé, du type classification supervisée.

La photographie aérienne a été utilisée à plusieurs reprises pour cartographier des zones de mangroves dans le monde (Paterson and Rehder, 1985 ; Untawake et al, 1982 ; Al-Tahir, 1998 ; Din et al, 2001 ; Verheyden et al, 2002 ; Duke et al, 2003 ; Manson et al, 2003 ; Rodriguez et al, 2004) en validant les classes identifiées par photo-interprétation à l'aide des données de terrain : jusqu'à 10 classes ont pu être distinguées mais aucune information sur leur précision n'est disponible.

Blasco et al. (1998) a analysé les diverses technologies de télédétection appliquées à la mangrove pour en conclure que la photographie aérienne convient le mieux pour étudier la densité, la phénologie, le statut hydrologique, les impacts anthropiques ainsi que la taille et la composition floristique des mangroves. Verheyden et al (2002) ont montré que les photographies aériennes constituent un outil de valeur pour produire des cartes précises de la végétation dans les forêts de mangrove avec une identification jusqu'au niveau de l'espèce. Grâce à la mise en place d'une clé d'identification basée sur 3 caractères structuraux (tonalité de gris, texture et forme et taille de la couronne au niveau de la canopée), la plupart des arbres individuels peuvent être identifiés. Toutefois, la clé d'identification doit être révisée pour chaque endroit

étudié car l'analyse de la photographie aérienne met en évidence des différences significatives dans l'interprétation des mangroves.

Bien que l'analyse quantitative (la densité relative) ne donne pas de très bons résultats et nécessite des investigations de terrain a posteriori, l'analyse qualitative des photographies aériennes (genre dominant, délimitation des assemblages floristiques) apparaît tout à fait satisfaisante.

Enfin, Fromard (com. pers., 2007) confirme que la photographie aérienne est un bon outil pour caractériser la mangrove, sa zonation et la densité des canopées. La photo-interprétation est pour lui une méthode efficace et suffisante pour mettre en évidence une zonation dans une mangrove.

Typologies étudiées

La mangrove peut être étudiée à différentes échelles et sur différents thèmes. La revue bibliographique a permis de lister différentes classifications en fonction de divers paramètres : caractéristiques environnementales (géologie, géomorphologie) ou végétales (espèce ou assemblage d'espèces, structure de la forêt).

En fonction de caractères géomorphologiques

A l'échelle régionale, Galloway (1982) distinguait 6 larges classes basées sur les **caractéristiques structurales et dynamiques du trait de côte** :

- Plaine d'alluvions influencée par la rivière ;
- Plaine influencée par la marée où de larges zones à faible gradient intertidal peuvent être colonisées par des mangroves ;
- Barrières et lagons influencés par les vagues : lorsque les barrières forment un lien entre la côte et les îlots, les eaux abritées sous le vent de la barrière sont propices à l'établissement de mangroves si les sédiments y sont présents ;
- Combinaison d'une plaine d'alluvions et d'une barrière : le résultat est une plaine côtière dominée par une frange littorale sableuse et des lagons étroits discontinus avec une plaine alluvionnaire à l'intérieur des terres ;
- Côte au substrat rocheux noyé provenant de larges baies côtières inondées par l'augmentation post-glacière du niveau de la mer. A l'embouchure de ces vallées ennoyées bordant la mer se forme un delta sablo-vaseux d'origine marine influencé par les marées où poussent de larges formations de mangroves ;
- Côte carbonatée : les mangroves peuvent pousser juste derrière les récifs frangeants, sur des sédiments coralliens accumulés (sable ou calcaire).

Cette classification est difficilement applicable à partir de photographies aériennes. Elle nécessite des cartes topographiques, géologiques et géomorphologiques, voire une étude de terrain plus poussée.

En fonction du type de formation ou physiographie

Une classification à échelle régionale a récemment été établie pour cartographier l'ensemble des zones humides du Queensland, incluant les mangroves (EPA, 2005). Elle permet de distinguer 4 grandes catégories de zones humides, incluant les mangroves. : marine, estuarienne, « palustrine », « lacustrine », indiquant un niveau de salinité différent en fonction des profils considérés.

Cette classification ne peut toutefois être appliquée pour cette étude étant donnée qu'elle englobe l'ensemble des zones humides, dépassant le simple cadre des mangroves.

Les notions **d'influence marine et d'influence fluviale** sont des indicateurs à retenir pour qualifier un type de mangrove et comprendre la répartition autour d'un cours d'eau (Duke et al, 2003 ; Duke, 2006). Une mangrove qui s'étend le long d'une rivière depuis l'estuaire jusqu'à la partie amont du cours d'eau, est souvent divisée en 3 parties, suivant :

- qu'elle subit plutôt l'influence des marées (de type estuarien au niveau de l'estuaire) ;
- qu'elle est sous influence des apports d'eau douce en amont (de type fluvial en amont) ;
- qu'elle se trouve entre les 2 (type intermédiaire).

Les différentes espèces de palétuviers se répartissent alors dans l'une des 3 catégories suivant leur tolérance à sel.

Ces 3 types de formation se retrouvent en Nouvelle-Calédonie, le long des rivières notamment de la côte ouest.

Il est reconnu que **l'hydrologie de surface** et la **dynamique des marées** jouent un rôle primordial dans la distribution des espèces de palétuviers et leurs limites structurales. Ces 2 paramètres ainsi que la topographie, la nature du sol, son orientation par rapport aux vents et aux courants, la forme du bassin versant en amont sont autant de facteurs qui vont conditionner la forme de la mangrove. On aborde ici la notion de **physiographie**.

Saenger (2004) distingue 6 types de formation différents qui possèdent chacun leurs propres caractéristiques environnementales (type et profondeur du sol, gamme de salinité du sol, niveaux de marées) : Cette classification est basée sur les communautés observées en Floride mais ce schéma a pu être observé ailleurs - Lugo & Snedacker, 1974) :

- Formation de mangrove régulièrement battue en mer, soit se trouvant sur les îlots, soit sur des avancées de terre dans la mer. Généralement, la position de cette mangrove est telle qu'elle est perpendiculaire au flux des marées.
- Frange littorale de mangrove.
- Forêt fluviale dans le lit majeur des cours d'eau, qui est quotidiennement vidée par les marées.
- Forêt de mangrove colonisant un bassin existant à l'intérieur des terres. Près de la côte, il est influencé par les marées journalières. Plus à l'intérieur des terres, l'influence des marées est moindre.
- Forêt en motte : similaire à celle des bassins mais sur un sol légèrement plus élevé, souvent surlignant les dépôts de tourbe.
- Forêt naine ou broussailleuse ne dépassant pas 1,5 m de haut (nutriments limités, fortes salinités).

En Nouvelle-Calédonie, on observe plusieurs types de formations que l'on peut regrouper dans certaines des catégories précédemment citées. La mangrove est présente depuis le bord des platiers frangeants, même sur les franges d'îlots. Certaines formations peuvent même se développer sur les platiers en pleine mer dans le lagon : Tel est le cas de l'îlot Cocotier dans le Nord du Diahot.

On a également pu observer des zones de marais asséchés quasiment fermés n'ayant que très peu de contact avec la mer. Il s'y développe parfois des plantes crassuléscentes sous forme de tanne herbeux.

Thollot (1992) distinguait 3 types de mangroves :

- les mangroves côtières ;
- les mangroves de fond de baie ;
- les mangroves fluvio-marines.

Ces dernières regroupaient en fait les mangroves d'estuaire et celles qui se développent de façon intermédiaire ou en amont le long d'une rivière. En revanche, il ne distinguait pas les mangroves de lagunes et celles qui se situent en pleine mer du fait que ses sites d'études ne les intégraient pas.

En fonction de caractères structuraux

La classification structurale est basée sur 3 attributs qui sont la **hauteur** de la canopée et le type de végétation de la strate la plus haute ainsi que la **couverture foliaire projetée** de la strate la plus haute (Saenger, 2004).

Il en ressort 9 catégories différentes d'après le schéma de Spetch (1970 In Saenger, 2004). En fait, les formations les plus communes sont celles qui présentent une canopée relativement fermée avec des hauteurs variables (Blasco et Aipuru, 1997 In Saenger, 2004). Les canopées ouvertes sont souvent associées à des sites de salinités élevées, souvent à des niveaux atteints par l'eau au cours de fortes marées de vives eaux et où les pluies sont globalement faibles ou très saisonnières. Les canopées ouvertes s'observent également dans des zones où l'eau est permanente.

Remarque : Cette classification suppose que les forêts soient matures.

En Nouvelle-Calédonie, il est possible d'appliquer une telle classification même si la hauteur des forêts n'est pas aussi spectaculaire que peut l'être celle des forêts australiennes ou de Papouasie Nouvelle-Guinée. Il est nécessaire d'adapter ce type de classification aux conditions calédoniennes en terme de classes de taille et de densité et d'ouverture de canopée.

En fonction du faciès botanique

Cette classification, relativement commune en ce qui concerne les mangroves, est basée sur le nom du genre ou de l'espèce dominante répertoriée dans une strate végétale.

Pour être fiable et pertinente, elle requiert certaines conditions :

- Bonne qualité de la photographie ;
- Résolution suffisamment élevée (photographie scannée entre 300 et 600 dpi) ;
- Attention : il faut une échelle minimale pour pouvoir repérer les espèces sur une photographie aérienne. Cooperative Research Center for Coastal Zone (CRC) préconise

au minimum du 1 / 25000 pour pouvoir distinguer les arbres isolés (Scheltinga & al, 2004).

En Nouvelle-Calédonie, une typologie en 4 classes est globalement applicable partout à partir des photographies aériennes existantes en base de données :

- Les tannes vifs ou herbeux ;
- La strate de palétuviers *Avicennia marina* ;
- La strate de palétuviers *Rhizophora* spp. ;
- Les autres strates appartenant à l'écosystème mangrove (catégorie regroupant toutes les autres espèces ou assemblages d'espèces de la mangrove et arrière mangrove).

Remarque : Les formations à Avicennia marina et celle à Rhizophora spp. sont prédominantes en Nouvelle-Calédonie et se présentent la plupart du temps sous forme de strates monospécifiques de grande taille relativement facilement identifiables.

En revanche, une classification plus fine est difficilement généralisable sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie du fait de :

- une diversité végétale importante dans certaines zones de mangrove et la présence d'assemblages plurispécifiques dont la texture et la tonalité apparaissent souvent différentes d'une photographie aérienne à l'autre ;
- une densité et hauteur de canopée variable pour une même espèce, ce qui parfois peut conduire à identifier des strates végétales différentes alors que ce sont les mêmes ;
- une qualité des photographies aériennes hétérogène sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie.

Classifications envisagées dans le cadre de l'étude

Finalement, dans le cadre de cette étude, il est proposé de tester 4 classifications différentes en fonction des critères suivants : type de mangrove, taille de mangrove, espèces ou groupes d'espèces au sein des mangroves, structure des strates au sein des mangroves (Tableau 1).

Parallèlement, il est proposé de voir dans quelle mesure, la classification botanique peut être affinée en un nombre de classes plus important que les 4 grandes classes envisagées ci-dessus. Cette classification botanique plus détaillée n'a pu être envisagée que :

- au fur et à mesure de l'avancement de la photo-interprétation ;
- sur un grand nombre de formations de mangrove ;
- à partir de plusieurs photographies aériennes de qualité différente.

De plus, la combinaison d'une classification botanique avec une classification structurale a été testée afin de proposer une typologie plus fine intégrant plusieurs paramètres caractérisant une mangrove sur une même carte.

Tableau 1 : Classifications envisagées sur les mangroves de Nouvelle-Calédonie

Echelle	Type de classification envisagée	Références
Mangrove	Type de formation - Physiographie	Saenger, 2004; EPA, 2005; Thollot et al, 1990 ; Lugo and Snedacker, 1974;
	Taille (superficie)	?
Strate	Classification botanique : composition floristique - groupements végétaux	Fromard et al, 2004 ; Rodriguez et Feller, 2004 ; Manson et al, 2003 ; Dahdouh-Guabas, 2002 ; Verheyden et al, 2002 ; Calzadilla Perez et al, 2002 ; Din et al, 2000 ; Green et al, 2000 ; Al-Tahir, 1998 ; Thollot et al, 1990
	Structurale (densité, canopée, hauteur)	Specht (1970) In Saenger; 2004; Satyanarayana et al, 2001 ; Blasco et al, 1998 ; Thollot et al, 1990

Investigations de terrain

Zones échantillonnées

Les investigations de terrain ont nécessité un travail de préparation d'une vingtaine de jours pour :

- Lister l'ensemble des mangroves existant en Nouvelle-Calédonie ;
- Sélectionner un certain nombre de mangroves à échantillonner ;
- Planifier les opérations de terrain et la venue d'un botaniste spécialiste des mangroves (Dr Norman Duke, Université du Queensland) ;
- S'assurer de l'accessibilité des mangroves et des moyens d'accès ;
- Trouver et contacter des « facilitateurs » et « accompagnateurs » sur des zones d'accès privé ou non identifié clairement.

Finalement, **25 jours** ont été consacrés aux investigations de terrain à pied, en bateau, en kayak ou en voiture, et qui ont permis de visiter **69 formations différentes** réparties sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie (Tableau 2).

Description qualitative de la structure de la mangrove

Il s'agit de caractériser la **composition** des communautés végétales au sein de chaque mangrove échantillonnée. Pour certaines, l'ensemble de la formation a pu être visitée, pour d'autres, certaines portions seulement ont été échantillonnées du fait de l'inaccessibilité ou la trop grande superficie des autres.

Les espèces rencontrées ont été listées et localisées précisément à l'aide de relevés de points GPS afin de pouvoir :

- Comprendre leur répartition par rapport à l'influence de la marée et par rapport à leur distance depuis l'embouchure s'il s'agit d'une mangrove d'estuaire ;
- Contourner les strates végétales homogènes monospécifiques ou correspondant à un assemblage d'espèces.

La **structure** a également été caractérisée par l'application d'un indice semi-quantitatif (appréciation visuelle sur une échelle de 1 à 3) qui est une combinaison de la **densité** (échelle de 1-clairsemé à 3-dense), de la **hauteur** de la strate (4 classes) et de la **canopée** (1-ouvert et 2-fermé).

Parallèlement les caractéristiques physiologiques (stades de maturité de pionnier à sénescence ; présence ou non d'organes de reproduction, etc.) ont été notées et des échantillons de végétaux ont été prélevés pour détermination, biométrie et archivage au laboratoire de botanique de l'IRD. De nombreuses photos ont complété les travaux de terrain.

Tableau 2 : Liste des mangroves échantillonnées dans le cadre de l'étude en 2006 et 2007

#	DATE	ZONE	MANGROVE ECHANTILLONNEE	TYPE DE MANGROVE	MOYEN	INTERVENANTS	ACCOMPAGNATEUR & FACILITATEUR
1	21/11/2006	Prony	Baie du Carénage	Fond de baie	bateau	SV - ND - CM - DB	
2		Mont Dore	Corniche Sud	Cordon littoral	voiture	SV - ND - CM - DB	
3		Mont Dore	Boulari	Fond de baie	à pied	SV - ND - CM - DB	
4	22/11/2006	Dumbéa	Rivière Dumbéa	Rivière - Estuaire	kayak	SV - ND - CM - DB	
5		Païta	Ondémia	Fond de baie	à pied	SV - ND - CM - DB	
6		Saint Vincent	Aéroport Tontouta	Rivière - Estuaire	bateau	SV - ND - CM - DB - PD	
7	23/11/2006	Saint Vincent	Bras de la Ouenghi au sud d'IFREMER	Rivière - Estuaire	bateau	SV - ND - CM - DB - PD	Pierre Brun - Roger Gallot
8		Saint Vincent	Presqu'île Rousseau - Ferme Aigue Marine	Fond de baie	voiture	SV - ND - CM	Christian Galinié - Michel Bulle
9		La Foa	La Presqu'île - Ferme Stylbleue	Fond de baie	à pied	SV - ND - CM	Edouard Klotz
10	24/11/2006	La Foa	Rivière La Foa	Rivière - Estuaire	bateau	SV - ND - CM	Lucky Fogliani
11		Moindou	Quai Ballande	Fond de baie	à pied	SV - ND - CM	
12		Bourail	Nessadiou	Rivière - Estuaire	voiture	SV - ND - CM	
13		Bourail	Néra	Rivière	voiture	SV - ND - CM	
14		Bourail	Le Cap	Rivière - Estuaire	bateau	SV - ND - CM	Christian Hénin
15		Poya	Poya - Népou	Rivière - Estuaire	voiture	SV - ND - CM	Jean-Michel Nagle
16		Poya	Népoui	Fond de baie	voiture	SV - ND - CM	
17		VKP	Pouembout	Rivière - Estuaire	kayak	SV - ND - CM	
18		VKP	Foué	Rivière - Estuaire	voiture	SV - ND - CM	
19	28/11/2006	VKP	Témala	Rivière - Estuaire	bateau	SV - ND - CM	M. Agez & Roger Loquet
20		VKP	Voh	Rivière - Fond de baie	bateau	SV - ND - CM	M. Agez & Roger Loquet
21		VKP	Oundjo - Pinjane	Patch littoral	à pied	SV - ND - CM	
22	29/11/2006	Kaala Gomen	Iouanga	Rivière - Estuaire	bateau	SV - ND - CM	Charles Poithili
23		Kaala Gomen	Ouanac	Rivière - Estuaire	bateau	SV - ND - CM	Charles Poithili
24		Koumac	Aérodrome Koumac	Patch littoral	voiture	SV - ND - CM	Charles Poithili
25		Poum	Sud Néhoulé	Fond de baie	voiture	SV - ND - CM	
26		Poum	Presqu'île Golonne	Cordon littoral	à pied	SV - ND - CM	
27		Poum	Aérodrome Golonne	Fond de baie	à pied	SV - ND - CM	
28	30/11/2006	Poum	Rivière Golonne	Fond de baie	à pied	SV - ND - CM	
29		Poum	Poum	Fond de baie	voiture	SV - ND - CM	
30		Poum	Sud Tiabet	Fond de baie	voiture	SV - ND - CM	
31		Poum	Nord Tiabet	Fond de baie	voiture	SV - ND - CM	
32		Poum	Poingam - Bolée	Fond de baie	à pied	SV - ND - CM	

SV : Sabrina Virly ; ND : Norman Duke, CM : Cyril Marchand ; DB : Damien Buisson ; PD : Pascal Dumas ; VL : Valérie Laurent

#	DATE	ZONE	MANGROVE ECHANTILLONNEE	TYPE DE MANGROVE	MOYEN	INTERVENANTS	ACCOMPAGNATEUR & FACILITATEUR
33		Poum	Gaumwa	Fond de baie	à pied	SV - ND - CM	
34		Arama	Pu Jam	Patch littoral	à pied	SV - ND - CM	
35		Arama	Phagaany	Patch littoral	à pied	SV - ND - CM	
36	01/12/2006	Arama	Nlijéec	Cordon littoral	voiture	SV - ND - CM	Armand Ogushiku
37		Arama	Arama	Patch littoral	voiture	SV - ND - CM	Armand Ogushiku
38		Arama	Bwalayet	Patch littoral	voiture	SV - ND - CM	Armand Ogushiku
39		Diahot	Baie Pilu	Fond de baie	voiture & à pied	SV - ND - CM	Armand Ogushiku
40		Diahot	Fôret d'Ougne	Fleuve	voiture	SV - ND - CM	Armand Ogushiku
41	02/12/2006	Diahot	Section 3 (Embouchure à Sentinelle)	Fleuve	bateau	SV - ND - CM	Armand Ogushiku
42	03/12/2006	Diahot	Section 2 (Sentinelle à Wéyélo)	Fleuve	bateau	SV - ND - CM	Armand Ogushiku
43	04/12/2006	Diahot	Section 1 (Wéyélo à Ouégoo)	Fleuve	bateau	SV - ND - CM	Armand Ogushiku
44		Balade	Balade	Patch littoral	à pied	SV - ND - CM	
45		Pouébo	Pouébo	Patch littoral	à pied	SV - ND - CM	
46	05/12/2006	Hienghène	Tanghène	Rivière - Estuaire	voiture & à pied	SV - ND - CM	
47		Hienghène	Hienghène	Rivière - Estuaire	voiture	SV - ND - CM	
48		Hienghène	Lindéralique	Lagune	kayak	SV - ND - CM	
49		Touho	Tiouandé - Maina	Rivière - Estuaire	voiture & à pied	SV - ND - CM	André Kalen
50	06/12/2006	Touho	Tipindjé	Rivière - Estuaire	voiture & à pied	SV - ND - CM	André Kalen
51		Touho	Tiwaé	Rivière - Estuaire	voiture & à pied	SV - ND - CM	Jean-Claude Poiba
52		Touho	Tiponite	Rivière - Estuaire	voiture & à pied	SV - ND - CM	Jean-Claude Poiba
53		Poindimié	Rivière Amoa	Rivière - Estuaire	voiture	SV - ND - CM	
54	07/12/2006	Poindimié	Rivière Pwééo	Rivière - Estuaire	voiture	SV - ND - CM	
55		Poindimié	Tiwaka	Rivière - Estuaire	voiture & à pied	SV - ND - CM	
56		Poindimié	Tchamba	Rivière - Estuaire	voiture & à pied	SV - ND - CM	
57	08/12/2006	Houailou	Bâ	Fond de baie	à pied	SV - ND - CM	Popo
58		Houailou	Houailou	Rivière - Estuaire	bateau	SV - ND - CM	Victor & Popo
59		Canala	Canala	Rivière - Estuaire	bateau	SV - ND - CM	Ernest Karembeu & Marius Gaekouin
60		Thio	Saint Jean Baptiste	Rivière - Estuaire	bateau	SV - ND - CM	Julien
61		Yaté	Ounia	Patch littoral	à pied	SV - DB	
62	13/02/2007	Yaté	Wénin	Patch littoral	à pied	SV - DB	
63		Yaté	Wé Ngéré	Patch littoral	à pied	SV - DB	
64		Yaté	Saint Raphaél	Patch littoral	à pied	SV - DB	
65	28/03/2007	Saint Vincent	Port Ouenghi	Fond de baie	à pied	SV	
66	28/03/2007	Kaala Koumac	Wharf Koumac	Patch littoral	à pied	SV	
67	29/03/2007	Ouaco	Téhélite	Patch littoral	à pied	SV	
68	07/06/2007	Dumbéa	Baie Hoff	Fond de baie	à pied	SV - VL	
69	14/06/2007	Ouvéa	Lékine	Lagune	à pied	SV	Monique Tiaou & Nineu Wéa
70		Ouvéa	Tia Sala	Lagune	à pied	SV	Antoine Owei & Nineu Wéa
71		Ouvéa	Ngimec	Lagune	à pied	SV	Antoine Owei & Nineu Wéa

Acquisition, traitements et analyses des photographies aériennes

Acquisition et tri

Sur la base de la base de données topographiques de la DITTT disponible par un serveur depuis la DTSI, dans laquelle une couche « mangrove » avait été répertoriée et sur celle de la classification des zones humides à partir des SPOT ainsi qu'à partir des cartes IGN et SHOM, les zones de mangroves ont été repérées et leur emprise a été notée.

Les photographies correspondant alors à ces emprises ont été sélectionnées.

Origine des photographies

Les photographies utiles pour couvrir le littoral de la Nouvelle-Calédonie (Tableau 3) ont été récupérées en majorité à la DITTT, soit sous format papier, soit sous format numérique non géoréférencé, sous format numérique géoréférencé, soit enfin sous format numérique orthorectifié (BD ortho).

Une partie des photos est directement disponible au Service de Géomatique et de Télédétection de la DTSI ; elles se présentent majoritairement sous format numérique géoréférencé et sont issues de commandes dans le cadre de programmes antérieurs tels que le programme « Forêts sèches » pour la zone de Gouaro – Déva par exemple.

Le Gie Serail a prêté l'ensemble de ses photographies au 1/8 000ième au format papier, qui couvrent la zone de Dumbéa Sud et Dumbéa Nord, une partie de la zone de Païta et la zone du Mont Dore.

La Direction du Patrimoine et des Moyens (DPM) de la Province Sud a mis à disposition les dalles photographiques manquantes sur le Grand Nouméa.

Dans le cadre de l'étude, le SGT a emprunté l'ensemble des photographies aériennes au 1/10 000ième à Goro Nickel (GNi), qui couvrent les formations de mangrove de la Baie de Prony et de Goro.

Parallèlement, un recensement de cartographies existantes de mangroves ou de données descriptives caractérisant des mangroves, issues de travaux antérieurs a été effectué. Ont à ce jour été rassemblés les données suivantes :

- Baltzer, (1969) : étude relative à la mangrove de Dumbéa et de la Baie Hoff ;
- Thollot et Wantiez (1996) : étude qui caractérise les mangroves du Grand Nouméa ;

- Virly (2002, 2003, 2003, 2005, 2007) : états initiaux du littoral dans le cadre de plusieurs études d'impacts sur les zones de Poya, Koné, Mont Dore, Ouaco et Nouméa ;
- ETEC (2003) pour la SECAL : Etude d'impact à Dumbéa sur Mer sur des terrains Fayard
- Hoffer (2004) : en stage à l'Université de Nouvelle-Calédonie, a cartographié de façon précise la mangrove de Dumbéa ;
- Virly (2005) : « Evaluation des impacts de l'aquaculture de crevettes sur les mangroves de Nouvelle-Calédonie » dont les sites d'études sont Moindou, Ouano, Pouaco et Pouanga ;
- Golder & associates, 2006 : étude relative aux zones littorales de la zone d'action du projet Koniambo Nickel SAS ;
- Dufermon (2006) en stage à la DITTT a travaillé sur la définition du trait de côte des zones de mangroves de Dumbéa et de Houailou ;
- ETEC (2006) pour la DGAC : Etude d'impact de l'extension de l'aérodrome de Magenta ;
- A2EP (2007) : Etude d'impact relative au projet GONDWANA (pose d'un câble sous marin) portant sur le DPM en Province Sud.
- SIRAS (2007) pour la SECAL : Identification des sites propices à la réhabilitation de la mangrove du Grand Nouméa.

Lorsque enfin, les données sources précédemment citées étaient manquantes pour pouvoir cartographier certaines zones, des prises de vue aériennes ont été extraites à partir de Google Earth. Leur qualité reste toutefois moyenne comparativement à la base de données photographique de la DITTT.

En dernier recours, des images issues des satellites Landsat ou Quickbird ont été chargées pour cartographier les zones non renseignées autrement.

Nombre et qualité des données photographiques

L'ensemble des photographies utilisées dans le cadre de cette étude est récapitulé dans le tableau 3. Leur origine, leur année d'acquisition, leur état, leur qualité, leur résolution ont été notées.

Les méta-données apparaissent de couleur différente dans le tableau 3, suivant qu'elles ont été retenues pour la réalisation de la cartographie, ou qu'elles ont été écartées (Tableau 4).

Tableau 4 : Définition de la symbologie utilisé dans le tableau 3.

Légende	Type de données	Traitement
en rouge	photo géoréférencée ou orthorectifiée prioritairement retenue pour la digitalisation	conservée pour être digitalisée
en noir	photo géoréférencée ou orthorectifiée écartée	conservée pour aide à l'interprétation si les données conservées ne sont pas suffisantes
en rose	photo numérisée écartée avant le géoréférencement	conservée sous format numérique
en italique	zone non visitée et peu accessible	Vérifier s'il y a de la mangrove
en trame pointillée	pas d'identification par la BD topo	Vérifier s'il existe de la mangrove

Numérisation et géoréférencement

Les photographies au format papier ont été numérisées à la DTSI à l'aide d'un scanner Epson Expression 1640 XL.

Elles ont été scannées entre 360 et 600 dpi, compromis acceptable entre la précision nécessaire à l'interprétation des données et le taille des fichiers générés.

Toutes les photographies numérisées ont été géoréférencées au moyen du logiciel ArcGis à l'aide des données issues de la base de données topographiques au 1 /10 000ième.

Tableau 3 : Liste et caractéristiques des photographies aériennes relatives aux différentes mangroves de Nouvelle-Calédonie.

Côte	Région	Lieu-dit	Type de données	Origine	Etat d'origine	Mission & matricule	Année de mission	Echelle	Etat actuel	Année de réalisation
OUEST	OUEEN	Ile Ouen	Google earth	GOOGLE	numérique JPG		?	?	digitalisée	2007
OUEST	PRONY	Baie du Carénage	photo A	DITTT	papier	Rectify 1992 SPP 56/200 & 68	1992	20 000	géoréférencée	2006
OUEST	PRONY	Baie du Carénage	photo A	Goro Nickel	orthorectifiée	05 goro spp 063106-050 & 05 goro spp 063107-050	2005	10 000	digitalisée	2007
OUEST	PRONY	Baie de la Somme	photo A	Goro Nickel	orthorectifiée	05 goro spp 063106-050 & 05 goro spp 063107-050	2005	10 000	digitalisée	2007
OUEST	PRONY	Baie de Prony (Montravel, B. Nord, B. Ouest, Bonne Anse)	photo A	Goro Nickel	orthorectifiée	05 goro spp 063112-050 & 05 goro spp 063113-050	2005	10 000	digitalisée	2007
OUEST	PRONY	Canal Woodin	photo A	DITTT	papier	1997 SEFP 5200 & 20	1997	20 000	papier	
OUEST	PRONY	Rivière des Pirogues	-	-						
OUEST	MONT DORE	Baie de Plum	photo A	Gie Serail	papier	Rectify2006 SPP 10_80c_4594 & Rectify2006 SPP 10_80c_4595 & Rectify2006 SPP 9_80c_4601 & Rectify2006 SPP 8_80c_4622	2006	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MONT DORE	Mont Dore Sud	photo A	Gie Serail	papier	Rectify2006 SPP 9_80c_4605 & 4608	2006	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MONT DORE	Vallon Dore	photo A	Gie Serail	papier	Rectify2006 SPP 6_80c_4640 & 4613	2006	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MONT DORE	Vallon Dore	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 006			orthorectifiée	
OUEST	MONT DORE	La Coulee & Déchetterie	photo A	Gie Serail	papier	Rectify2006 SPP 4_80c_4876 & 4661 & 4662 & 4663 & 4643	2006	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MONT DORE	Baie du Charbon (estuaire de la Coulee)	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 006			orthorectifiée	
OUEST	MONT DORE	Saint Louis	photo A	Gie Serail	papier	Rectify2006 SPP 4_80c_4875 & 4876	2006	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MONT DORE	Saint Louis	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 006			orthorectifiée	
OUEST	MONT DORE	Saint Michel	photo A	Gie Serail	papier	Rectify2006 SPP 4_80c_4873 & 4667	2006	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MONT DORE	Saint Michel	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 006			orthorectifiée	
OUEST	MONT DORE	Robinson	photo A	Gie Serail	papier	Rectify2006 SPP 4_80c_4870 & Rectify2006 SPP 4_80c_4872	2006	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MONT DORE	Robinson	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 006			orthorectifiée	
OUEST	MONT DORE	Conception Pont des Français	photo A	Gie Serail	papier	Rectify2006 SPP 4_80c_4868	2006	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MONT DORE	Conception	Quickbird	DITTT	orthorectifiée	Quickbird 006			orthorectifiée	
OUEST	NOUMEA	Tina	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	NOUMEA	Magenta	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	NOUMEA	Ouemo	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	NOUMEA	4ème	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	NOUMEA	Kaméré - Tindu	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	KOUTIO	Baie de Koutio-Kouéta	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyDumbea 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5578 & 5577 & 85576	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	KOUTIO	Baie de Koutio-Kouéta	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-56	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	KOUTIO	Baie de Koutio-Kouéta	Ikonos	DTSI	géoréférencée	Ikonos 1	1999	10 000	géoréférencée	
OUEST	DUMBEA	Anse Apogoti	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyDumbea 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5574 & 5589	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	DUMBEA	Anse Apogoti	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-55	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	DUMBEA	Baie de Taa	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyDumbea 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5591	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	DUMBEA	Baie de Taa	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-55	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	DUMBEA	Pointe Luzerne	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyDumbea II 1_8000 03-2005 run 02_250	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	DUMBEA	Pointe Luzerne	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyDumbea II 1_8000 03-2005 run 02_252	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	DUMBEA	Estuaire de la Dumbéa	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-55	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	DUMBEA	Baie de Hoff	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyDumbea II 1_8000 03-2005 run 7_002	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	DUMBEA	Baie de Hoff	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyDumbea II 1_8000 03-2005 run 06_024	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	DUMBEA	Baie de Hoff	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-53	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	DUMBEA	Rivière Dumbéa (partie médiane)	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyDumbea II 1_8000 03-2005 run 06_022	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	DUMBEA	Rivière Dumbéa (partie amont)	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyDumbea II 1_8000 03-2005 run 08_030	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	DUMBEA	Rivière Dumbéa plaine Adam (partie amont)	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyDumbea II 1_8000 03-2005 run 08_032	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	DUMBEA	Ensemble de Dumbéa	photo A	Becim	géoréférencée	02 SPP 300c-9456	2002	10 000	géoréférencée	2004

Côte	Région	Lieu-dit	Type de données	Origine	Etat d'origine	Mission & matricule	Année de mission	Echelle	Etat actuel	Année de réalisation
OUEST	PAITA	Baie Nouré	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-61	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Baie Nouré	photo A	Gie Serail	scannée	RectilyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5517	2001	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	PAITA	Baie Gadij	photo A	Gie Serail	scannée	RectilyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5515	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Baie Gadij	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-61	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Baie Taureau	Google earth	GOOGLE	numérique JPG		?	?	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Baie Taureau	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-61	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Baie Maad	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-61 ou 01 SEFP 01 200c-79	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Baie Néfiondou	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-79	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Katiramona	photo A	Gie Serail	scannée	RectilyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5512	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ondémia Est	photo A	Gie Serail	scannée	RectilyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5507	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ondémia Ouest	photo A	Gie Serail	scannée	RectilyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5509	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ondémia Nord	photo A	Gie Serail	scannée	RectilyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5526	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ondémia	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-62	2001	20 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Ondémia Port Laguerre	photo A	DITTT	géoréférencée	01 SEFP 01 200c-63	2001	20 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ensemble Ondémia	SPOT5	DTSI	orthorectifiée	ortho502	2004		orthorectifiée	2006
OUEST	PAITA	Presqu'île Nolé	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-78	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Baie de Nénouré	photo A	Gie Serail	scannée	Rectily01 SEFP 01_200c-76	2001	20 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ilot T'Ndu	photo A	Gie Serail	scannée	Rectily01 SEFP 01_200c-88	2001	20 000	géoréférencée	2007
OUEST	PAITA	Nakouta - Naia	photo A	Gie Serail	scannée	Rectily Paia 2005 1_8000 16-09-2005 run 10_5487	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	PAITA	Nakouta - Naia	photo A	Gie Serail	scannée	RectilyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 10_5491	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	PAITA	Entre Enghoué et Pointe Aurantio	photo A	DITTT	papier	01 SEFP 01 200c-90	2001	20 000	scannée	2006
OUEST	PAITA	Nord Timbia	photo A	Gie Serail	scannée	RectilyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 10_5483	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	PAITA	Nord Timbia	photo A	DITTT	papier	01 SEFP 01 200c-92	2001	20 000	scannée	2006
OUEST	SAINT VINCENT	Champ de malheur	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Presqu'île de Uitoé	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ile Mathieu	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ile Ndukué	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ile Longue	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ile Page	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Inaccessible	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Presqu'île de Montagnés	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ile Cocotier	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Rivière La Tamoa	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie aux Tortues	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Sud Rivière La Tontouta	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Nord Rivière La Tontouta	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Ouenghi	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Rivière Ouenghi	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Presqu'île Beauprés	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ilot Hugon	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ilots Ducoas	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ilots Parseval	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ilot Leprieux	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ilot Puén	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Déama est	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Déama nord	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Déama ouest	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Arembo	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Bouraké	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007

Côte	Région	Lieu-dit	Type de données	Origine	Etat d'origine	Mission & matricule	Année de mission	Echelle	Etat actuel	Année de réalisation
OUEST	PAITA	Baie Nouré	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-61	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Baie Nouré	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5517	2001	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	PAITA	Baie Gadij	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5515	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Baie Gadij	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-61	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Baie Taureau	Google earth	GOOGLE	numérique JPG		?	?	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Baie Taureau	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-61	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Baie Maad	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-61 ou 01 SEFP 01 200c-79	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Baie Néftridou	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-79	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Katiramona	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5512	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ondémia Est	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5507	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ondémia Ouest	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5509	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ondémia Nord	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 1_5526	2005	8 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ondémia	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-62	2001	20 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Ondémia Port Laguerre	photo A	DITTT	géoréférencée	01 SEFP 01 200c-63	2001	20 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ensemble Ondémia	SPOT5	DTSI	orthorectifiée	ortho502	2004		orthorectifiée	2006
OUEST	PAITA	Presqu'île Nolé	photo A	DITTT	orthorectifiée	01 SEFP 01 200c-78	2001	10 000	orthorectifiée	2004
OUEST	PAITA	Baie de Nénouré	photo A	Gie Serail	scannée	Rectify01 SEFP 01_200c-76	2001	20 000	digitalisée	2007
OUEST	PAITA	Ilot T'Ndu	photo A	Gie Serail	scannée	Rectify01 SEFP 01_200c-88	2001	20 000	géoréférencée	2007
OUEST	PAITA	Nakouta - Naia	photo A	Gie Serail	scannée	Rectify Paia 2005 1_8000 16-09-2005 run 10_5487	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	PAITA	Nakouta - Naia	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 10_5491	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	PAITA	Entre Enghoulé et Pointe Aurantio	photo A	DITTT	papier	01 SEFP 01 200c-90	2001	20 000	scannée	2006
OUEST	PAITA	Nord Timbia	photo A	Gie Serail	scannée	RectifyPaia 2005 1_8000 16-09-2005 run 10_5483	2005	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	PAITA	Nord Timbia	photo A	DITTT	papier	01 SEFP 01 200c-92	2001	20 000	scannée	2006
OUEST	SAINT VINCENT	Champ de malheur	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Presqu'île de Uitoé	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ile Mathieu	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ile Nduké	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ile Longue	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ile Page	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Inaccessible	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Presqu'île de Montagnés	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ile Cocotier	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Rivière La Tamoa	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie aux Tortues	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Sud Rivière La Tontouta	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Nord Rivière La Tontouta	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Ouenghi	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Rivière Ouenghi	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Presqu'île Beauprés	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ilot Hugon	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ilots Ducoas	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ilots Parseval	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ilot Leprieux	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Ilot Puén	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Déama est	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Déama nord	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Déama ouest	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Baie Ambro	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Bouraké	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	SAINT VINCENT	Nord Presqu'île Rousseau	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007

Côte	Région	Lieu-dit	Type de données	Origine	Etat d'origine	Mission & matricule	Année de mission	Echelle	Etat actuel	Année de réalisation
OUEST	LA FOA	Ilots Testard	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Presqu'île Gardner	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Sud Méwouané	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Nord Méwouané	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Presqu'île Ouano	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Ouano (terme aquacole)	Zonéco 2004	DTSI	digitalisée		2004	10 000	digitalisée	2004
OUEST	LA FOA	Baie de Ouano (tout)	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Baie de Chambeiron	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-			digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Baie de Foni	photo A	DITTT	papier	rectify 2004 SPP 201/200c-10	2004	20 000	digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Sud-Est Presqu'île Lebris	photo A	GOOGLE	numérique JPG	RectifyLa foa Lebris 1_10000 08-1996 run 08_048			digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Ouest Presqu'île Lebris	photo A	GOOGLE	numérique JPG	RectifyLa foa Lebris 1_10000 08-1996 run 08_046			digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Presqu'île Lebris	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 008			orthorectifiée	2002
OUEST	LA FOA	Ilôt Lebris	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 008			orthorectifiée	2002
OUEST	LA FOA	Rivière La Foa	photo A N/B	DITTT	papier	1982 IGN PAC 64/400-417	1982	40 000	digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Rivière La Foa	photo A N/B	DITTT	géoréférencée	1982 IGN PAC 64/400-416	1982	40 000	digitalisée	2004
OUEST	LA FOA	Rivière La Foa	photo A	DPM	numérique JPG	RectifyLa foa Village 1_8000 09-2005 run 2_0235	2000	8 000	digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Rivière La Foa	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyRivière La Foa 1 Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Rivière La Foa	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyRivière La Foa 2 Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	LA FOA	Rivière La Foa	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyRivière La Foa 3 Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Fort Térémba	photo A	DPM	numérique JPG	RectifyMoindou Térémba 1_8000 09-2002 run 01_097	2002	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Fort Térémba	photo A	DPM	numérique JPG	RectifyMoindou Térémba 1_8000 09-2002 run 01_098	2002	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Fort Térémba	photo A	DPM	numérique JPG	RectifyMoindou Térémba 1_8000 09-2002 run 01_099	2002	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Presqu'île Tanghy	photo A	DTSI	géoréférencée	04-SPP_zno 100C-4995	2004	10 000	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Presqu'île Tanghy	photo A	DTSI	géoréférencée	04-SPP_zno 100C-4996	2004	10 000	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Presqu'île Tanghy	photo A	DTSI	géoréférencée	04-SPP_zno 100C-4997	2004	10 000	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Presqu'île Tanghy	photo A	DTSI	géoréférencée	04-SPP_zno 100C-4999	2004	10 000	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Sud Presqu'île de Grandio (SODACAL)	Zonéco 2004	DTSI	digitalisée	RectifyMoindou Térémba 1_8000 09-2002 run 02_100	2004	10 000	digitalisée	2004
OUEST	MOINDOU	Sud Presqu'île Tanghy	photo A	DPM	numérique JPG	RectifyMoindou Térémba 1_8000 09-2002 run 02_100	2002	8 000	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Rivière Moindou	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyRivière Moindou 1 Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Rivière Moindou	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyRivière Moindou 2 Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Rivière Moindou	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyRivière Moindou 3 Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Rivière Moindou	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyRivière Moindou 4 Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Baie de Moindou (Nord-Ouest)	photo A	DITTT	géoréférencée	Rectify82 85 ign pac 64 400-415-moindou	1982	40 000	géoréférencée	2007
OUEST	MOINDOU	Baie de Moindou (Nord-Ouest)	photo A	DITTT	géoréférencée	Rectify82 85 ign pac 64 400-414-moindou	1982	40 000	géoréférencée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord baie de Moindou	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 009	2004		digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Sud Tribu Kéré	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 009	2004		digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Sud Tribu Kéré	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifySud Kéré Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Sud Tribu Kéré	photo A	DITTT	scannée	1982 IGN PAC 64/400-430	1982	40 000	scannée	2004
OUEST	MOINDOU	Nord Tribu Kéré	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 009			digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Tribu Kéré	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyNord Kéré Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Tribu Kéré	photo A	DITTT	papier	1982 IGN PAC 64/400-430	1982	40 000	scannée	2004
OUEST	MOINDOU	Nord Est Mwéré Mwéru	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyNord Mwéré Mwéru Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Ouest Mwéré Mwéru	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyOuest Mwéré Mwéru Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Sud Pointe Carré Février	photo A	DTSI	orthorectifiée	03-fs-spp_kele_025	2003		digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Pointe Carré Février	photo A	DTSI	orthorectifiée	03-fs-spp_kele_025	2003		digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord Pointe Martin	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 011	2004		digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Nord & Sud Pointe Martin	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyPointe Martin Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Sud Pointe Noire	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifySud Pointe Noire Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	MOINDOU	Sud Pointe Noire	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 011	2004		orthorectifiée	2004
OUEST	MOINDOU	Nord Pointe Noire	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyMewa Pohiu Nd Kéré Google	?	?	digitalisée	2007

Côte	Région	Lieu-dit	Type de données	Origine	Etat d'origine	Mission & matricule	Année de mission	Echelle	Etat actuel	Année de réalisation
OUEST	BOURAIL	Nord Pointe Noire	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 011	2004		orthorectifiée	2004
OUEST	BOURAIL	Bwa	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyBwa Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	BOURAIL	Sud Pointe Bellenguez	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	RectifyBellenguez Google	?	?	digitalisée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Nessadiou	Photo A	DPM	numérique JPG	RectifyBourail3_Pointe_Vidouire_8000e_29-08-2004_run2_photo050_600dpi_30%	2004	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Nessadiou	Photo A	DPM	numérique JPG	RectifyBourail3_Pointe_Vidouire_8000e_29-08-2004_run2_photo051_600dpi_30%	2004	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Nessadiou	Photo A	DPM	numérique JPG	RectifyBourail3_Pointe_Vidouire_8000e_29-08-2004_run2_photo053_600dpi_30%	2004	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Nessadiou	Photo A	GOOGLE	numérique JPG	RectifyNessadiou sud Google	?	?	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Nessadiou	Photo A	GOOGLE	numérique JPG	RectifyNessadiou intermédiaire Google	?	?	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Nessadiou	photo A N/B	DIITT	papier	Rectify82 IGN PAC 83_80-1	1982	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Nessadiou	photo A N/B	DIITT	papier	Rectify82 IGN PAC 83_80-2	1982	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Nessadiou	photo A	DIITT	papier	Rectify89 SPP 09_80c-31	1989	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Nessadiou	photo A	DIITT	papier	Rectify89 SPP 09_80c-32	1989	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Néra	photo A	DTSI	orthorectifiée	03-fs-spp_nessadiou_025	2003	20 000	orthorectifiée	2004
OUEST	BOURAIL	Rivière Néra	photo A	DIITT	scannée	89 SPP 0980 & 11	1989	8 000	scannée	-
OUEST	BOURAIL	Rivière Néra	photo A	DIITT	papier	Rectify89 SPP 09_80c-22	1989	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Néra	photo A	DIITT	papier	Rectify89 SPP 09_80c-23	1989	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Néra	photo A	DIITT	papier	Rectify89 SPP 09_80c-24	1989	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Néra	photo A	DIITT	papier	Rectify89 SPP 09_80c-36	1989	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Rivière Néra	photo A	DIITT	papier	Rectify89 SPP 09_80c-37	1989	8 000	géoréférencée	2007
OUEST	BOURAIL	Poé	photo A	DTSI	orthorectifiée	03-fs-spp_boe_lante_09_050	2003	20 000	digitalisée	2004
OUEST	BOURAIL	Coupée Cap Goulvain	photo A	DIITT	géoréférencée	Rectify03 SPP 190_200c-6	2003	20 000	digitalisée	2007
OUEST	BOURAIL	Coupée Cap Goulvain	photo A	DTSI	orthorectifiée	03-fs-spp_boe_lante_nord_12_050	2004	20 000	digitalisée	2007
OUEST	BOURAIL	Coupée Cap Goulvain	photo A	DTSI	orthorectifiée	03-fs-spp_boe_lante_nord_11_050	2003	20 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Kapuidéa	Google optimisé	GOOGLE	géoréférencée		?	?	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Station Beauprés	photo A	DTSI	orthorectifiée	03-fs-spp_boe_lante_nord_08_050	2003	20 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Ouanéco	Google optimisé	GOOGLE	géoréférencée		?	?	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Nord Poudorou	Google optimisé	GOOGLE	géoréférencée		?	?	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Sud Pointe Moglin	Photo A	DTSI	géoréférencée	03-fs-spp_boe_lante_nord_05_050 & 04.02.01	?	?	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Sud presqu'île Poniwi	Google optimisé	GOOGLE	géoréférencée		?	?	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Rivière Poya - Népou	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Anse Mondoni	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Presqu'île Béco	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Baie Nékoro	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Ile Djé	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Ile Grimault	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Ilot Didot	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Presqu'île de Nékoro	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Baie de Muéou	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Baie de Népou	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POYA	Nord presqu'île de Pindai	BD ortho	DIITT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007

Côte	Région	Lieu-dit	Type de données	Origine	Etat d'origine	Mission & matricule	Année de mission	Echelle	Etat actuel	Année de réalisation
OUEST	VKP	Plaine des Galacs et Baie Blanche	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Sud Plage de Franco	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Nord Plage de Franco	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Goyeta	BD ortho	DITTT	orthorectifiée			10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Pointe aux serpents (Nord Goyeta)	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Petit Konihè	BD ortho	DITTT	orthorectifiée			10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Estuaire Pouembout (Rivières Pouembout Nindia & Poemba)	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Sud Presqu'île Foué	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Estuaire de La Koné (Rivières Koné & Kataviti)	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Baie de la Confiance	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Pinjin	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Pingiane	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Oundjo	BD ortho	DITTT	orthorectifiée			10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Presqu'île Vavouto	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Baie Vavouto	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Baie Vavouto	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	-		?	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Ile Gatope	BD ortho	DITTT	orthorectifiée			10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Gatope sud	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	VKP	Presqu'île Gatope	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 012	2003		digitalisée	2007
OUEST	TEMALA	Temala	photo A	Geobank	orthorectifiée	93 GBK xx/15 & 050	1993		orthorectifiée	2000
OUEST	TEMALA	Temala	photo A	DTSI	géo-référencée	82-85-pac-64-400 & 466	1982	40 000	géo-référencée	2004
OUEST	TEMALA	Temala	Google earth	GOOGLE	numérique JPG	-			numérique JPG	
OUEST	TEMALA	Pouaco Est	Zonéco 2004	DTSI	digitalisée	82-85-pac-64-400 & 468 ET 04-SPP_100C & 6129	2004	10 000	digitalisée	2005
OUEST	TEMALA	Pouaco Ouest	photo A	DTSI	géo-référencée	82-85-pac-64-400 & 468	1982	40 000	géo-référencée	2004
OUEST	TEMALA	Sud Anse de Pouanga	photo A	DTSI	géo-référencée		1982	40 000	géo-référencée	2004
OUEST	TEMALA	Canecout	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-	2006	10 000	digitalisée	2007
OUEST	TEMALA	Anse Pouanga	Zonéco 2004	DTSI	digitalisée		2004	10 000	digitalisée	2005
OUEST	TEMALA	Illet sud Pouanga	photo A	DTSI	géo-référencée	04-SPP_100C & 6134	2004	?	géo-référencée	2004
OUEST	OUACO	Ouécou	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-	2006	10 000	digitalisée	2007
OUEST	OUACO	Pointe Patiepe	photo A	DTSI	géo-référencée	76-IGN-PAC-37_200 & 187	1976	20 000	géo-référencée	2004
OUEST	OUACO	Pointe Patiepe	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-	2006	10 000	digitalisée	2007
OUEST	OUACO	Nord Kouéko	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-	2006	10 000	digitalisée	2007
OUEST	OUACO	Sud Ouaco Téhélie	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-	2006	10 000	digitalisée	2007
OUEST	OUACO	Sud Ouaco	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 036	2005		orthorectifiée	
OUEST	OUACO	Nord Ouaco	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 036	2005		orthorectifiée	
OUEST	OUACO	Nord Ouaco	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	OUACO	Sud Cap Dévers	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	OUACO	Teu & Tinip (sud Cap Dévers)	Photo A	DITTT	papier	Rectify02 SPP 185-2/80c & 1	2002	8 000	géo-référencée	2007
OUEST	KAALA-GOMEN	Baie Gomen	photo A N/B	DITTT	papier	1982 IGN PAC 64/400 & 475	1982	40 000	scannée	2006
OUEST	KAALA-GOMEN	Sud Baie Gomen	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	KAALA-GOMEN	Nord Baie Gomen	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	KAALA-GOMEN	Estuaire Kaala Gomen	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	KAALA-GOMEN	Sud Pointe Karembe	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	KAALA-GOMEN	Estuaire Kaala Gomen	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 007	2002		orthorectifiée	
OUEST	KAALA-GOMEN	Nord de l'estuaire de Kaala	Photo A	DITTT	papier	Rectify02 SPP 185-1_80c-1	2002	8 000	géo-référencée	2007
OUEST	KAALA-GOMEN	Nord de l'estuaire de Kaala	Photo A	DITTT	papier	Rectify02 SPP 185-1_80c-11	2002	8 000	géo-référencée	2007
OUEST	KAALA-GOMEN	Nord de l'estuaire de Kaala	Photo A	DITTT	papier	02 SPP 185-1_80c-8	2002	8 000	papier	2007
OUEST	KAALA-GOMEN	Sud wharf Karembe	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 007	2002		orthorectifiée	

Côte	Région	Lieu-dit	Type de données	Origine	Etat d'origine	Mission & matricule	Année de mission	Echelle	Etat actuel	Année de réalisation
OUEST	KOUMAC	Nord Wharf Karambé jusqu'au sud Koumac	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	KOUMAC	Sud Wharf Madoyi	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 007	2002		orthorectifiée	2007
OUEST	KOUMAC	Nord Wharf Madoyi jusqu'au sud Koumac	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 007	2002		orthorectifiée	2007
OUEST	KOUMAC	Nord Wharf Madoyi jusqu'au sud Koumac	photo A	DITTT	papier	2000 SEFP 0380c & 36 à 39	2000	8 000	scannée	2007
OUEST	KOUMAC	Pontie Pandop (cordon sud)	photo A	DITTT	papier	2000 SEFP 0380c & 40	2000	8 000	scannée	2007
OUEST	KOUMAC	Koumac Pandop	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	KOUMAC	Ouanac	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	KOUMAC	Aérodrome Koumac	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	KOUMAC	Sd Paagoumène	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	KOUMAC	Paagoumène	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	KOUMAC	Baie d'Oiland	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Pointe Tiabat	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Baie de Néhoué	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Plateau de Thio	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Pointe de Kim	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Presqu'île de Golonne	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Sud Anse de Pouani	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Nord Anse Pouani	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Poum	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Baie de Poum	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Nord presqu'île Tébane	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Sud Baie Banaré	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Nord Baie Banaré	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Pointe Tiabat	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Nord Tiabat	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Bolee	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Ile Baaba	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	POUM	Ile Yandé	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	BELEP	Ile Art	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
OUEST	BELEP	Ile Pott	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POUM	Poingame	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POUM	Pointe Pouthier (Baie de Nolaao)	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POUM	Bayu	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POUM	Cabwi	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POUM	Maa La Boac	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POUM	Nord Pointe Oumap	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POUM	Sud Pointe Oumap	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	ARAMA	Pu lam	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	ARAMA	Naraac - Phagany	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	ARAMA	Nijéac	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	ARAMA	Arama (Pointe Guyonnel)	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	ARAMA	Entre embranchement RPN9 et Bwalayet	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007

Côte	Région	Lieu-dit	Type de données	Origine	Etat d'origine	Mission & matricule	Année de mission	Echelle	Etat actuel	Année de réalisation
EST	DAHOT	Balabio	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	DAHOT	Sud Bwalavet (Baie Pilou)	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	DAHOT	Diahot (Forêt d'Ougne)	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	DAHOT	Diahot	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	DAHOT	Pam	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	DAHOT	Tiari	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	Maamat (nord Balade)	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200c-153	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	Balade	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200c-151	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	Sainte Marie (Sud Balade)	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200c-149	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	Saint Paul	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200c-149	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	Pouebo Sainte Marie	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200c-145	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	Pouebo	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200c-144	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	Tchabouenne	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200c-121	1999	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	Oubatche	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200c-123	1999	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	Yambé	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200c-213	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	Sud Yambé	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200-214	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	De Wellc (Sud Yambé) à Cap Colnett	-	-	-	-				
EST	BALADE-POUEBO	Cap Colnett (partie sud)	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 154_200c-221	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	De Sud Cap Colnett à Bord Mont Panié	-	-	-	-				
EST	BALADE-POUEBO	Bord Panié (nord Panié)	photo A N/B	DITTT	scannée	Rectify96 SEFF 0_200-117	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	BALADE-POUEBO	De Panié à la Ouaième	-	-	-	-				
EST	HIENGHENE	Rivière Tanghène	photo A N/B	DITTT	papier	Rectify96 SEFF 01_200-77	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	HIENGHENE	Rivière Hienghène	photo A	DITTT	papier	Rectify96 SEFF 01_200-75	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	HIENGHENE	Poule Couveuse	photo A	DITTT	papier	Rectify96 SEFF 01_200-75	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	HIENGHENE	Kouloué	photo A N/B	DITTT	papier	Rectify96 SEFF 01_200-74	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	HIENGHENE	Kouloué	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 39_200 & 8	1991	20 000	scannée	2006
EST	HIENGHENE	Timpindié	photo A N/B	DITTT	papier	Rectify96 SEFF 01_200-71	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	HIENGHENE	Maina	photo A N/B	DITTT	papier	Rectify96 SEFF 01_200-69	1996	20 000	géoréférencée	2007
EST	TOUHO	Vieux Touho	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	TOUHO	Baie Poindia	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	TOUHO	Baie Touho	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	TOUHO	Ilot Aitie	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	TOUHO	Touho (aérodrome)	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	TOUHO	Nord Kokengone	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POINDIMIE	Rivière Tiwaka	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POINDIMIE	Pwéso	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POINDIMIE	Paama	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POINDIMIE	Quindo	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	POINDIMIE	Rivière Tchamba	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	PONERIHOUEN	Nord Ponérihouen	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	PONERIHOUEN	Embouchure Ponérihouen	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	PONERIHOUEN	Est Ponérihouen	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	PONERIHOUEN	Mou	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	PONERIHOUEN	Embouchure Monéo	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	PONERIHOUEN	Nord Baie Ugué	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007

Côte	Région	Lieu-dit	Type de données	Origine	Etat d'origine	Mission & matricule	Année de mission	Echelle	Etat actuel	Année de réalisation
EST	HOUAILLOU	Cap Bocage	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	HOUAILLOU	Ba	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	HOUAILLOU	Nékoué	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	HOUAILLOU	Houailou	BD ortho	DITTT	orthorectifiée	-		10 000	digitalisée	2007
EST	KOUAOUA	Sud Kouaoua	Photo A	DITTT	papier	Rectify96 GBK 30_200-177	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	KOUAOUA	Sud Kouaoua	Photo A	DITTT	papier	Rectify95 GBK 30_200-16	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	CANALA	Baie de Canala	photo A	DITTT	papier	Rectify96 GBK 30_200-168	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	CANALA	Baie de Canala	photo A	DITTT	papier	Rectify96 GBK 30_200-182	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	CANALA	Baie de Canala	photo A	DITTT	papier	Rectify96 GBK 30_200-183	1996	20 000	digitalisée	2007
EST	CANALA	Ouest Bogota	photo A	DITTT	papier	Rectify95 GBK 30_200-77	1995	20 000	digitalisée	2007
EST	CANALA	Quasse	photo A	DITTT	papier	Rectify95 GBK 30_200-77	1995	20 000	digitalisée	2007
EST	THIO	Thio	photo A	DITTT	orthorectifiée	95 SPP 90/200C & 68-72	1995	20 000	orthorectifiée	1999
EST	THIO	Nord Bota Méré	photo A	DITTT	orthorectifiée	Rectifythio09_041-02375-9-oct-06	2006	8 000	orthorectifiée	2007
EST	THIO	Nord Bota Méré	photo A	DITTT	orthorectifiée	Rectifythio09_064-02398-9-oct-06	2006	8 000	orthorectifiée	2007
EST	THIO	Bota Méré	photo A	DITTT	papier	Rectifythio09_094-02428-9-oct-06	2006	8 000	digitalisée	2007
EST	THIO	Bota Méré	photo A	DITTT	papier	Rectifythio09_068-02402-9-oct-06	2006	8 000	digitalisée	2007
EST	THIO	Port Bouquet (Rivière Fashia)	photo A	DITTT	papier	Rectify95 SPP 90_200c-56	1995	20 000	géoréférencée	2007
EST	THIO	Ile Nemu	photo A	DITTT	papier	Rectify95 SPP 90_200-47	1995	20 000	digitalisée	2007
EST	THIO	Ile Tupati	photo A	DITTT	papier	Rectify95 SPP 90_200c-45	1995	20 000	digitalisée	2007
EST	THIO	Saint Roch	photo A	DITTT	papier	Rectify95 SPP 90_200c-56	1995	20 000	digitalisée	2007
EST	THIO	Rivière Néma	photo A	DITTT	papier	Rectify95 SPP 90_200c-56	1995	20 000	digitalisée	2007
EST	THIO	Saint Roch à Tupati	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 028			orthorectifiée	2005
EST	THIO	Grand Borindi au nord Saint Jean Baptiste	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 155_200c-119	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	THIO	Grand Borindi au nord Saint Jean Baptiste	photo A	DITTT	papier	2000 SPP 155/200c & 118	2000	20 000	scannée	2006
EST	THIO	Saint Jean Baptiste	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 155_200c-116	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	THIO	Sud Saint Jean Baptiste	photo A	DITTT	papier	2000 SPP 155/200c & 117	2000	20 000	scannée	2006
EST	THIO	Petit Borindi (Néxwé Chère)	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 155_200c-115	2000	20 000	digitalisée	2007
EST	THIO	Grand Borindi à Petit Borindi	Quickbird	DTSI	orthorectifiée	Quickbird 028			orthorectifiée	2005
EST	THIO	Rivière Ni	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 155_200c-108	2000	20 000	géoréférencée	2007
EST	THIO	Ouiné	photo A	DITTT	papier	Rectify2000 SPP 155_200c-99	2000	20 000	digitalisée	2007

Côte	Région	Lieu-dit	Type de données	Origine	Etat d'origine	Mission & matricule	Année de mission	Echelle	Etat actuel	Année de réalisation
EST	YATE	Petit Ounia	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 40/200 & 41	1991	20 000	scannée	-
EST	YATE	Petit Ounia	photo A	DITTT	papier	2000 SPP 155/200c & 1	1999	20 000	scannée	2006
EST	YATE	Petit Ounia	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_127	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Petit Ounia	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_125	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Petit Ounia	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_123	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Mamié à Muruto	photo A N/B	DITTT	papier	RectiY91 SPP 40_200-38	1991	20 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Mamié à Muruto	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_117	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Mamié à Muruto	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_119	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Mamié à Muruto	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_121	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Muruto	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_115	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Muruto	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_114	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Wé Ngéré	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_112	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Wé Ngéré	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_110	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Wé Ngéré	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 12_109	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Mamié à Muruto	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 40/200 & 37	1991	20 000	scannée	2006
EST	YATE	Cap Pouaréti	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 40/200 & 35	1991	20 000	scannée	2006
EST	YATE	Cap Pouaréti	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 13_096	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Cap Pouaréti	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 13_094	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Wé Béréké	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 13_093	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Wé Béréké	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 13_091	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Nord Baie de Yaté (Wé Béréké)	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 40/200 & 46	1991	20 000	scannée	2006
EST	YATE	Nord Wé Béréké	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 40/200 & 33	1991	20 000	scannée	2006
EST	YATE	Embouchure Yaté	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 16_220	1997	8 000	digitalisée	2007
EST	YATE	Embouchure Yaté	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 14_107	1997	8 000	digitalisée	2007
EST	YATE	Wao	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 40/200 & 10	1991	20 000	scannée	2006
EST	YATE	Saint Raphaël	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 17A_066	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Saint Raphaël	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 17A_064	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Saint Raphaël	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 40/200 & 5	1991	20 000	scannée	2006
EST	YATE	Presqu'île Kwé Binyi	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 17A_062	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Presqu'île Kwé Binyi	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 40/200 & 4	1991	20 000	scannée	2006
EST	YATE	Nord Goro (à 1,3 km)	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 19_039	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Nord Goro (à 1,3 km)	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 19_041	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Nord Goro (à 1,3 km)	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 20_045	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Nord Goro (à 1,3 km)	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 40/200 & 2	1991	20 000	scannée	2006
EST	YATE	Ile Nu Neae (à 1,3 km)	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 18_056	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Ile Nu Neae (à 1,3 km)	photo A	DPM	scannée	RectiYaté 1_8000 07-1997 run 18_054	1997	8 000	géoréférencée	2007
EST	YATE	Ile Nu Neae (à 1,3 km)	photo A N/B	DITTT	papier	91 SPP 40/200 & 2	1991	20 000	scannée	2006
EST	YATE	Nord Goro & Ile Nu Neae	photo A	Goro Nickel	orthorectifiée	05 goro spp 063105-060	2005	10 000	orthorectifiée	2006
EST	YATE	Goro	photo A	Goro Nickel	orthorectifiée	05 goro spp 063110-060	2005	10 000	orthorectifiée	2006
EST	YATE	Port Boisé	photo A	Goro Nickel	orthorectifiée	05 goro spp 063114-060	2005	10 000	orthorectifiée	2006
EST	YATE	Reine Charlotte	photo A	Goro Nickel	orthorectifiée	05 goro spp 063115-060	2005	10 000	orthorectifiée	2006
ILE	OUVEA	Léline	photo A	DITTT	orthorectifiée	02 spp 177-200c 08	2002	20 000	digitalisée	2007
ILE	OUVEA	Tia Sala	photo A	DITTT	orthorectifiée	02 spp 177-200c 16	2002	20 000	digitalisée	2007
ILE	OUVEA	Ngimec	photo A	DITTT	orthorectifiée	02 spp 177-200c 20	2002	20 000	digitalisée	2007
ILE	OUVEA	Ngimec	photo A	DITTT	orthorectifiée	02 spp 177-200c 54	2002	20 000	digitalisée	2007
ILE	OUVEA	Ngimec	photo A	DITTT	orthorectifiée	02 spp 177-200c 56	2002	20 000	digitalisée	2007

Photo-interprétations

Création d'une base de données géographiques

Le choix de la méthode de photo-interprétation ou digitalisation est basé sur l'analyse des références bibliographiques relatives aux traitements d'images aériennes de mangrove et qui ont prouvé l'efficacité pour l'interprétation des différentes strates végétales.

Une base de données géographiques a été créée en intégrant les paramètres qui nous ont semblés intéressants de renseigner et de cartographier (Tableau 5). La base étant évolutive, elle pourra être complétée par des paramètres supplémentaires qui n'ont pas été retenus dans le cadre de cette étude.

Tous les polygones qui sont créés par digitalisation et qui correspondent à une zone colonisée par une espèce ou un assemblage plurispécifique, sont renseignés non seulement sur l'espèce ou le groupe d'espèce qui le constitue, mais également sur d'autres informations tels que la densité, la date de visite de la mangrove, l'origine de la photo, etc.

Toutes ces informations constituent les valeurs des attributs retenus pour caractériser les mangroves.

Typologie basée sur le faciès botanique et la structure

CLASSIFICATIONS BOTANQUES

Afin de trouver la typologie la plus pertinente relative au faciès botanique des mangroves de Nouvelle-Calédonie, plusieurs tests ont été réalisés à partir de classifications différentes :

1) Tout d'abord, une classification botanique détaillée à 21 classes a été créée sur la base de laquelle 3 sites de mangroves qui ont fait l'objet d'investigations de terrain, ont été cartographiés (Tableau 5 : type_forma).

Malgré les relevés de terrain disponibles, il est apparu difficile d'interpréter des zones à assemblages plurispécifiques, et encore plus à partir de certaines photographies aériennes de qualité moyenne. Cette classification élaborée s'est donc avérée être trop détaillée pour certaines mangroves dont on ne reconnaissait pas les espèces depuis les photographies aériennes.

2) Il a été décidé de créer une classification botanique plus simple qui puisse s'appliquer sur l'ensemble des mangroves de Nouvelle-Calédonie, en réduisant le nombre de classes à 7 pour pouvoir obtenir un rendu standardisé sur l'ensemble des mangroves et ce, quelle que soit la qualité des photographies sources.

- la strate à *Rhizophora* spp. ;
- la strate à *Avicennia marina* ;
- les tannes nus ou vifs ou zones envasées ou inondées ;
- toutes les autres espèces de palétuviers en formation monospécifique ou en assemblage ;

- les strates végétales autres que la mangrove, qui jouxtent ou sont incluses dans la mangrove ;
- les zones défrichées ou converties qui étaient anciennement de la mangrove, lorsque cette information est disponible ;
- la végétation qui reste indéterminée, quelle soit de la mangrove ou de l'arrière mangrove.

3) Au fur et à mesure de l'avancement de la digitalisation, la classification simple initialement prévue a été affinée afin de trouver un compromis respectable entre la standardisation possible sur l'ensemble de la NC et la précision apportée par les données de terrain ne couvrant qu'une partie de la NC

Finalement une classification botanique à 12 classes a été retenue pour caractériser au mieux et de façon standardisée l'ensemble des formations présentes en NC (Tableau 5 : Type_form1).

CLASSIFICATION STRUCTURALE

La classification structurale développée ici s'inspire de celle décrite par Saenger (2004) (Tableau 5). Elle utilise 3 attributs structuraux qui sont :

- la densité : 1) clairsemé, 2) moyennement dense, 3) dense ;
- la hauteur de la strate végétale : 1) inf à 2 m, 2) de 2 à 5 m, 3) de 5 à 10 m, 4) sup à 10 m, 5) non définie ;
- l'ouverture de la canopée : 1) canopée ouverte, 2) canopée fermée

L'attribut caractérisant la classification structurale est appelé « structure » et il présente 3 valeurs différentes :

- Clairsemé, court et ouvert ;
- Moyennement dense, inférieur à 5 m de haut et fermée ;
- Dense, haut et fermée

La classification structurale n'a pas été appliquée à chacune des classes botaniques puisque certaines ne le requièrent pas (les tannes ne sont jamais qualifiés de denses ici et sont toujours clairsemés)

TYPLOGIE BOTANIQUE ET STRUCTURALE

La combinaison de la classification botanique retenue avec la classification structurale à 3 classes offre une typologie botanique et structurale à 25 classes différentes qui tiennent compte à la fois des espèces ou groupes d'espèces et de la structure (Figure 1).

Classification botanique simple et structurale

- Formation de Rhizophora clairsemé
- Formation de Rhizophora moyennement dense
- Formation de Rhizophora dense
- Formation d'Avicennia clairsemé
- Formation d'Avicennia moyennement dense
- Formation d'Avicennia dense
- Tanne nu
- Tanne vif ou avec petit arbuste
- Zone envasée ou inondée
- Formation d'arrière mangrove clairsemée
- Formation d'arrière mangrove moyennement dense
- Formation d'arrière mangrove dense
- Formation mixte à Bruguiera moyennement dense
- Formation mixte à Bruguiera dense
- Autre formation mixte clairsemée
- Autre formation mixte moyennement dense
- Autre formation mixte dense
- Végétation clairsemée non inféodée à la mangrove
- Végétation moyennement dense non inféodée à la mangrove
- Végétation dense non inféodée à la mangrove
- Mangrove morte ou convertie
- Végétation indéterminée clairsemée
- Végétation indéterminée moyennement dense
- Végétation indéterminée dense
- Marécage à Cypéracées

Figure 1 : Classes de la typologie botanique simple et structurale retenue pour l'atlas cartographique des mangroves de Nouvelle-Calédonie



Figure 2 : Strate à Rhizophora stylosa dense à Pouébo avec chenal à marée basse



Figure 3 : Strate à *Avicennia marina* moyennement dense (densité 2/3 et hauteur 1 m) à Koné



Figure 4 : Tanne nu asséché à Népou



Figure 5 : Tanne vif à Salicornes avec quelques *Avicennia marina* courts et très épars à Pouembout



Figure 6 : Formation d'arrière mangrove moyennement dense (Cordon périphérique à *Lumnitzera racemosa* et *Sciphyphora*



Figure 7 : Formation d'arrière mangrove dense (Cordon périphérique d'*Excoecaria agallocha* de 7 m de haut) à Poya



Figure 8 : Formation à *Bruguiera gymnorhiza* et espèces associées sur la rivière Pouembout



Figure 9 : Autre formation mixte ou monospécifique dense (Strate à *Lumnitzera racemosa* de 2m de haut) à Pouembout



Figure 10 : Végétation morte (*Rhizophora* moyennement dense broutés par des animaux en divagation) au Cap

Tableau 5 : Paramètres retenus dans la base de données et leurs attributs, pour caractériser une mangrove ou une formation au sein d'une mangrove

Couche	Attribut	Code	Valeur de l'attribut	Description de l'attribut
Mangrove - Mangrove forest	Type de mangrove - physiography	1	Fond de baie	
		2	Estuarienne	
		3	Intermédiaire	
		4	Fluviale	
		5	Bordure côtière	
		6	Îlot en mer	
		7	lagunaire	
		8	Patch interne	
	Côte	1	Est	
		2	Ouest	
	Province	1	Ile	
		2	Nord	
		3	Sud	
	Exposition	1	Exposé	
		2	Abrité	
	Région		-	
	Nom mangrove			
	Visite de la mangrove		oui non	
	Date visite mangrove		-	date de visite
	Source (origin of photo)		-	nom de la photo
	Date de la source (date of photo)		-	Année de la prise de photo
Mangrove area	Superficie de la zone			une zone de mangrove non divisée par un ouvrage (route, convoyeur, etc.)

Couche	Attribut	Code	Valeur de l'attribut	Description de l'attribut
Strate végétale - Mangrove stratum	Composition floristique 1 = "Type_form1"	1	Formation à Rhizophora spp.	[correspondance (1) de la classification type_forma]
		2	Formation à Avicennia marina	(2a, 2b)
		3a	Tanne nu	[3]
		3b	Tanne vif ou avec arbustes épars ou avec souches	(4a, 4b)
		3c	Zone envasée et/ou inondée	[5]
		4a	Formation mixte d'arrière mangrove	Formation mixte interne 1 : Excoecaria agallocha, Luminitzera spp., Heritiera littoralis, Hibiscus, Thespesia (11a)
		4b	Formation à Bruguiera et espèces associées	Formation interne mixte 2 : Bruguiera, Acrostichum, Xylocarpus granatum, Heritiera littoralis, Acanthus et Rhizophora, voire Excoecaria (6a, 6b, 11b)
		4c	Autres formation monospécifique ou mixte	[mélange de "downstream" Rhizophora, Avicennia, Sciphyphora, Sonneratia, Luminitzera] OU [mélange "upstream" Rhi, Hib, Acanthus] OU [autres] (7, 8, 9, 10, 12)
		5	Végétation non inféodée à la mangrove	(13a)
		6	Mangrove morte ou convertie	soit morte, soit en friche, soit convertie (1b, 15)
		7	Végétation indéterminée	mangrove ou non (14)
		8	Marécage à cypéracées	(13b)

Couche	Attribut	Code	Valeur de l'attribut	Description de l'attribut
Strate végétale - Mangrove stratum	Composition floristique 2 Floristic composition ="Type_forma"	1	Formation à Rhizophora spp.	majoritaire dans la formation
		1b	Rhizophora morts ou Avicennia morts	
		2a	Formation à Avicennia marina	majoritaire dans la formation
		2b	Avicennia + Rhizophora	
		3	Tanne nue	avec ou sans voile algal
		4a	Tanne vif	avec Salicorne ou Sesuvium ou arbustes
		4b	Tanne avec souches	
		5	Zone inondée et/ou envasée	
		6a	Formation à Bruguiera gymnorhiza	majoritaire dans la formation avec éventuellement Acrostichum et Xylocarpus
		6b	Bruguiera + Rhizo	avec éventuellement Acrostichum, Xylocarpus, Heritiera
		7	Formation à Luminitzera spp.	majoritaire dans la formation avec éventuellement Exc et Scyphophora
		8	Formation à Excoecaria agallocha	majoritaire dans la formation
		9	Formation à Ceriops tagal	majoritaire dans la formation
		10	Formation à Sonneratia alba	majoritaire dans la formation
		11a	Formation mixte interne	Formation mixte interne 1 : Excoecaria agallocha, Luminitzera spp., Heritiera littoralis, Hibiscus, Thespesia
		11b		Formation interne mixte 2 : Bruguiera, Acrostichum, Xylocarpus granatum, Heritiera littoralis, Acanthus
		12	Formation mixte de frange littorale	Avicennia, Sonneratia, avec quelques Rhizophora et / ou Luminitzera, Pemphis, Scyphiphora
		13a	Végétation non inféodée à la mangrove	Prairie, savane à niaoulis, acacias, etc. (Meleuleca, etc.)
		13b	Cypéracées	
		14	Végétation indéterminée	
		15	Mangrove convertie	
	Superficie		-	
	Visite de la strate		oui	
			non	
	Nom du carottage			

Couche	Attribut	Code	Valeur de l'attribut	Description de l'attribut
Classification 1	Structure 1 = Densité et canopée	1	clairsemé, court et ouvert	
		2	moyennement dense, inf 5 m et fermé	
		3	dense, haut et fermé	
Classification structurale 2 - Structural patterns	Densité de la formation - Density	1	clairsemé	
		2	moyennement dense	
		3	dense	
	Hauteur de la formation - Height	1	inf 2 m	
		2	2 à 5	
		3	5 à 10	
		4	sup 10 m	
		5	non disponible	
	Type de canopée - Canopy closure	1	ouvert	
		2	fermée	

Typologie relative à la physiographie

Cette classification est appliquée sur l'ensemble des mangroves de Nouvelle-Calédonie à l'échelle du pays en non au sein d'une mangrove.

Généralement une mangrove appartient à une même classe de physiographie, sauf les mangroves qui se sont développées depuis un estuaire jusqu'à l'intérieur des terres le long d'une rivière. Dans ce cas, on observe 3 classes différentes (estuarienne, intermédiaire, fluviale) dans cette formation.

Dans le cas de notre présente étude, nous distinguons les formations suivantes :

- Marines (sans contact avec le littoral) ;
- De bordure côtière (influence marine : cordon littoral étroit ou plus large) ;
- De fond de baie (influence marine : patch avec ou sans réseau hydrographique développé) ;
- Estuarienne (influence marine : patch à l'embouchure d'une rivière avec un chenal principal) ;
- Intermédiaire (le long d'une rivière avec influence marine et fluviale) ;
- Fluviale (influence du bassin versant : mangrove sur les rives d'une rivière) ;
- En patch interne marécageux ou asséché (plutôt influence du bassin versant) ;
- Lagunaire (avec relation avec la mer).

Archivage

Les photographies utilisées pour l'interprétation ont été archivées dans une base de données photographiques du SGT. L'ensemble des données traitées (les projets ArcGis pour photo-interprétations ainsi que les cartes générées) a également été stocké dans une autre base de données.

Un accès aux photographies et aux données interprétées est prévu pour l'ensemble des partenaires du programme ZoNéCo.

Localisation des mangroves de Nouvelle-Calédonie

Superficie totale

La Nouvelle-Calédonie totalise plus de **35 000 hectares** de mangrove et formations associées incluant les tannes nus ou herbeux, les marécages à cypéracées ainsi que les zones inondées ou envasées situées au-delà du trait de côte (Tableau 6). La végétation non inféodée à la mangrove mais localisée au sein des formations de mangroves atteint environ 900 hectares.

Les premières publications faisaient état d'environ 20 000 hectares (Morat et al, 1981) mais elles ne précisait pas ce qu'incluait cette valeur. Thollot (1992) a affiné cette valeur à 20 250 ha par observation et planimétrie rapide des cartes au 1 / 200 000 ième.

Muzinger et Lebigre (2006) annoncent une superficie de 27 000 hectares en faisant référence aux principales formations de mangrove exploitées pour la pêche au crabe *Scylla serrata*.

Dans le cadre de la présente étude, les zones de tannes et marais atteignant 9224 hectares, soit 26% de l'ensemble des mangroves de Nouvelle-Calédonie, il est probable qu'elles n'étaient pas comprises dans les 200 km² cités depuis le début des années 1990.

Tableau 6 : Superficie des mangroves de Nouvelle-Calédonie

Classes botaniques	Superficie	
	Hectares	%
Formations arbustives ou arborescentes de mangrove	25 884	74%
Zones de tanne ou marais	9 224	26%
Total	35 108	100%

Distribution Est/Ouest

La figure 11 qui représente la localisation des formations de mangrove en Nouvelle-Calédonie, met clairement en évidence une dissymétrie de leur répartition entre la côte est et la côte ouest. Cette dernière abrite plus de formations de mangrove que la côte Est au vent.

En effet, 88% des mangroves sont localisées sur le littoral sur la côte ouest de la Grande Terre et celle d'Ouvéa (Tableau 7).

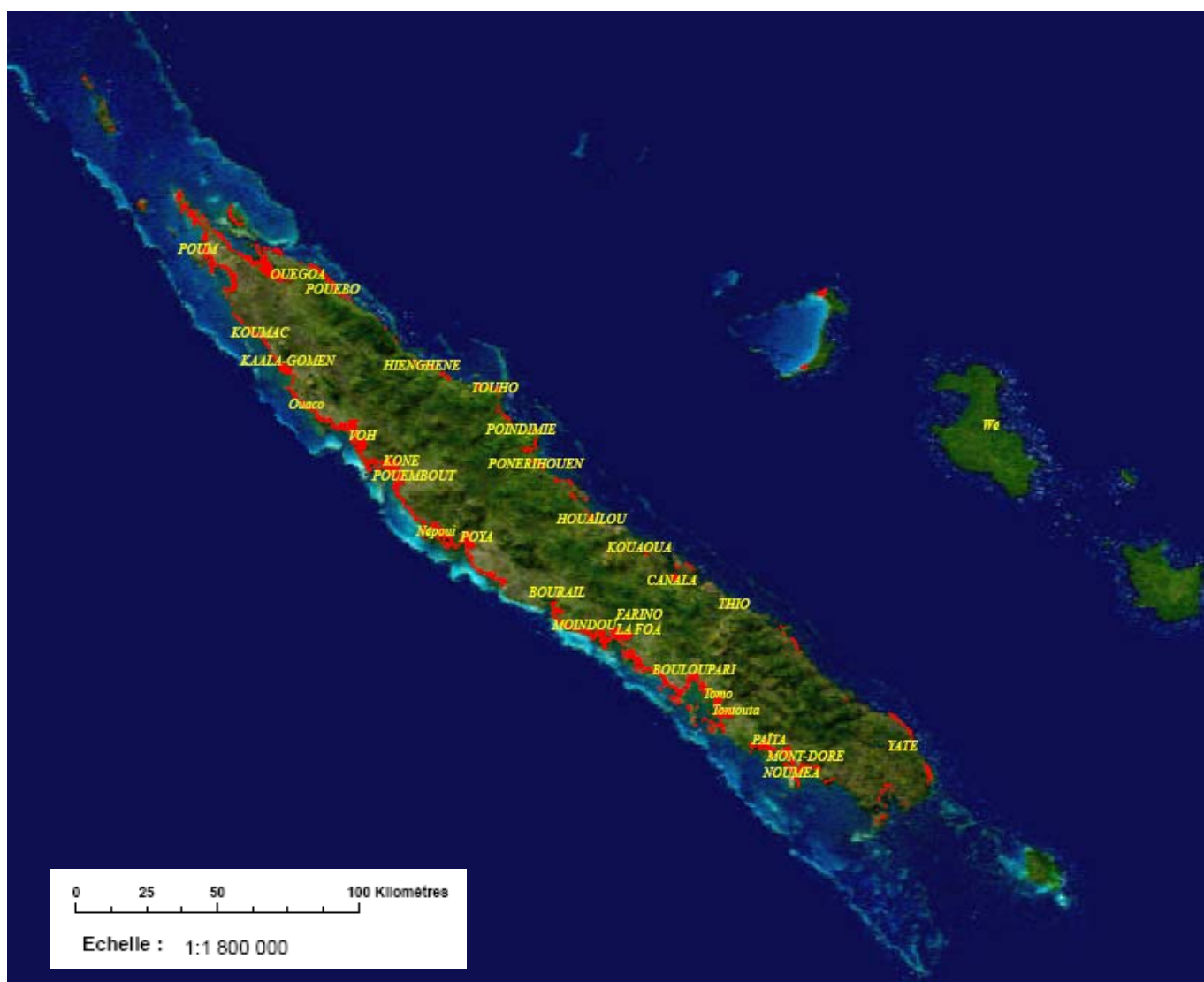


Figure 11 : Localisation des mangroves en Nouvelle-Calédonie

Tableau 7 : Distribution des mangroves sur les côtes de Nouvelle-Calédonie

	Côte est	Côte ouest	Total
Superficie (ha)	4 383	31 539	35 921
%	12%	88%	100%

Répartition provinciale

C'est en Province Nord que les mangroves couvrent la plus grande superficie du littoral avec 59% (Tableau 8). Quasiment la moitié des mangroves de Nouvelle-Calédonie sont situées sur la côte Nord-Ouest.

Elles ne représentent en revanche que 1% dans la Province des Iles Loyauté où elles sont essentiellement localisées à Ouvéa en formation lagunaire. Quelques palétuviers ont été observés sur Lifou essentiellement sous forme de cordon littoral très étroit ; il s'agit d'espèces classiquement rencontrées en bord de mer telles que le palétuvier aveuglant *Excoecaria agallocha* et le palétuvier *Pemphis acidula* souvent sur littoral rocheux de type ancien récifs coralliens émergés (observation personnelle).

Tableau 8 : Répartition provinciale des mangroves de Nouvelle-Calédonie

Province	Côte	Superficie (ha)	%
Total Iles	ouest	235	1%
Nord	est	3 864	11%
	ouest	17 502	49%
Total Nord		21 366	59%
Sud	est	518	1%
	ouest	13 802	38%
Total Sud		14 321	40%

Type de mangroves en Nouvelle-Calédonie

Les mangroves de fond de baie sont prédominantes en Nouvelle-Calédonie totalisant 40% de l'ensemble des formations (Tableau 9). Elles se rencontrent principalement sur la côte Ouest ; il en est de même des mangroves estuariennes, du fait de la géomorphologie de la Grande Terre qui présente des plaines alluvionnaires abritées sur la côte Ouest pouvant abriter des formations végétales marines.

Les cordons littoraux, même les patchs plus larges prédominent en revanche sur la côte Est.

Les patchs internes sont peu représentés en Nouvelle-Calédonie où ils ont été essentiellement notés dans le nord de la côte Est de la Grande Terre.

De même les îlots de mangrove en mer sont rares mais certains peuvent atteindre une superficie importante : tel est le cas de celui de Pinjiane situé entre Koné et Voh avec près de 600 hectares de *Rhizophora* spp. et *Avicennia marina* moyennement denses à denses.

Tableau 9 : Physiographie des mangroves de Nouvelle-Calédonie

Physiographie	Côte Est		Côte Ouest		Total	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Fond de baie	505	12%	14032	44%	14537	40%
Estuarienne	487	11%	6780	21%	7267	20%
Intermédiaire	256	6%	2674	8%	2930	8%
Fluviale		0%	477	2%	477	1,3%
Cordon ou patch littoral	2894	66%	6334	20%	9228	26%
Îlot en mer	11	0,2%	673	2%	684	2%
Lagunaire	68	2%	455	1,4%	523	1,5%
Patch interne	163	4%	114	0,4%	277	0,8%
Total	4383	100%	31539	100%	35921	100%

Taille des formations

Sur les 272 sites recensés par photographies aériennes, 44% ont une taille comprise entre 10 et 100 hectares et seulement 7% présentent une superficie supérieure à 500 hectares (Tableau 10).

Les mangroves prédominantes, aussi bien en Province Nord qu'en Province Sud, sont celles dont la superficie est comprise entre 10 et 100 hectares.

Tableau 10 : Répartition des formations de mangroves par classes de taille

	Province	Classes de taille (ha)					Total
		x < 10	10 < x < 100	100 < x < 500	500 < x < 1000	1000 < x	
Nombre de sites	Iles	1	1	1			3
		33%	33%	33%			100%
	Nord	33	66	35	3	6	143
		23%	46%	24%	2%	4%	100%
	Sud	37	54	27	7	1	126
		29%	43%	21%	6%	1%	100%
	Total	71	121	63	10	7	272
		26%	44%	23%	4%	3%	100%

Les 7 plus grandes formations de mangroves totalisent près de 12 000 hectares (Tableau 11). Il s'agit principalement de mangrove d'estuaire, avec une taille comprise entre 1000 et 2260 hectares.

Tableau 11 : Superficie des 7 plus grandes formations de mangrove de Nouvelle-Calédonie

Site	Superficie (ha)
Rivière Moindou	2 259
Fleuve Diahot	2 176
Baie de Poya	1 886
Estuaire Koné (avec Kataviti)	1 741
Estuaire de la Temala	1 367
Rivière Pouembout	1 291
Estuaire de la Kaala Gomen	1 004
Total	11 724

Classification botanique simple et structurale

Présentation de l'atlas

Il s'agit du recueil de l'ensemble des cartes de mangroves produites à partir de photographies aériennes. Il comporte :

- une première partie présentant les mangroves calédoniennes en quelques chiffres, la localisation des mangroves en Nouvelle-Calédonie (1 carte) ainsi que leur répartition en classes physiographiques (8 cartes) ;
- une seconde partie compilant l'ensemble des planches correspondant à la classification botanique simple et structurale.

La classification botanique simple et structurale, croisant les informations de botanique avec des données sur la structure des mangroves, aboutit à des cartes plus complexes que celles issues de la simple classification botanique, comme explicité précédemment.

L'atlas comporte 195 cartes couvrant l'ensemble des formations présentes en Nouvelle-Calédonie (Annexe 2).

Les cartes au format A3 sont généralement au 1 / 10 000 ième mais certaines ont été présentées à une échelle supérieure, comprise entre 1 / 12 000 ième et 1 / 28 000 ième, pour éviter de couper une formation homogène en 2 cartes séparées.

Un cartouche de localisation de la formation en Nouvelle-Calédonie est disponible dans le bandeau situé à droite de chaque carte.

Répartition des formations végétales

La formation végétale prédominante dans les mangroves de Nouvelle-Calédonie est celle constituée de palétuviers du genre *Rhizophora*, représentant 55% de la superficie totale des mangroves (Tableau 12). Elle domine aussi bien en Province Nord qu'en Province Sud.

Les tannes nus ou herbeux occupent respectivement 27% et 23% en Province Sud et Nord. Plutôt sous forme de tannes colonisés par des arbustes nains épars du genre *Avicennia*, ils ne sont présents qu'en faible proportion à Ouvéa.

La strate à *Avicennia marina* est la troisième formation la plus représentée dans les mangroves calédoniennes avec 14% de la superficie totale des mangroves. Cette strate est nettement plus développée en Province Nord qu'en Province Sud et qu'en Province des Iles.

La formation mixte à *Bruguiera gymnorhiza* et espèces associées n'atteint pas 1% sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie ; cette valeur peu élevée est probablement liée au fait que cette formation est difficilement identifiable à partir de photographie aérienne du fait de :

- sa plurispécificité (mélange de plusieurs espèces de taille, de couleur et de texture différentes, voire au sein même de l'espèce *Bruguiera gymnorhiza* où certains spécimens paraissent plus rouges et d'autres plus verts),
- sa présence non systématique dans une mangrove,
- sa position variable d'une formation à l'autre (certaines sont présentes sur la frange externe d'un patch littoral, d'autres en arrière des *Rhizophora* dans la partie intermédiaire d'une mangrove s'étirant le long d'une rivière),
- la taille souvent réduite de ces patches qui se distinguent difficilement des strates végétales voisines surtout lorsque la qualité de la photographie à interpréter est mauvaise.

Il est alors probable que la classe « végétation indéterminée » qui reste peu élevée (1,3% de la superficie totale) comporte une partie des polygones correspondant à la formation mixte à *Bruguiera gymnorhiza*.

Les formations rencontrées dans la Province des Iles Loyauté, précisément à Ouvéa, présentent des caractéristiques différentes en terme de :

- forme de mangrove (plutôt lagunaire ou en patch interne),
- proportions des différentes strates végétales,
- substrat colonisé par les palétuviers.

A Ouvéa et notamment dans la mangrove de Lékine, il s'agit plutôt d'une formation caractéristique d'une mangrove interne avec la prédominance du genre *Lumnitzera* (formation mixte d'arrière mangrove atteignant 6%), avec des zones plurispécifiques composées de *Rhizophora* spp., de *Bruguiera gymnorhiza* et par endroit, de *Ceriops tagal*, espèce observée plutôt dans la partie nord de la Grande Terre.

Tableau 12 : Superficie des différentes strates végétales recensées en Nouvelle-Calédonie en 2007.

Classes botaniques	Superficie							
	Iles		Nord		Sud		Total	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
Formation à Rhizophora spp. majoritaires	5	2%	11 357	53%	8 313	58%	19 676	55%
Formation à Avicennia marina majoritaires			3 697	17%	1 274	9%	4 970	14%
Formation mixte à Bruguiera et espèces associées	3	1,1%	65	0,3%	103	1%	170	0,5%
Formation mixte d'arrière mangrove	14	6%	155	0,7%	42	0,3%	212	0,6%
Autre formation monospécifique ou mixte	195	83%	93	0,4%	118	1%	406	1,1%
Marais à cypéracées			25	0,1%	14	0,1%	39	0,1%
Tanne nu			3 886	18%	2 851	20%	6 737	19%
Tanne vif ou avec petits arbustes épars	13	6%	1 049	5%	1 000	7%	2 062	6%
Zone inondée ou envasée			242	1,1%	144	1,0%	386	1,1%
Végétation indéterminée	5	2%	330	2%	116	0,8%	451	1,3%
Végétation non inféodée à la mangrove			376	2%	170	1,2%	546	2%
Mangrove morte ou convertie			90	0,4%	177	1,2%	268	0,7%
Total	235	100%	21 366	100%	14 321	100%	35 921	100%

CONCLUSION

Cette étude réalisée dans le cadre du programme ZoNéCo, a pour objectif :

- d'acquérir une meilleure connaissance des mangroves de Nouvelle-Calédonie en terme de richesse spécifique, de superficies et de distribution des différentes formations végétales ;
- de définir plusieurs typologies des mangroves aboutissant à une cartographie de l'ensemble des formations recensées en Nouvelle-Calédonie.

L'atlas cartographique des mangroves de Nouvelle-Calédonie, produit issu de cette étude, est le premier réalisé sur cet écosystème calédonien qui distingue les principales grandes formations végétales monospécifiques ou plurispécifiques et qui apporte une précision sur la structure de la végétation.

La photo-interprétation sous Système d'Information Géographique à partir de photographies aériennes, complétée par des investigations de terrain, est une méthode qui a prouvé son efficacité dans la réalisation de cartes thématiques des mangroves. Dans le cadre de cette étude, elle a été utilisée pour produire 195 cartes de mangroves correspondant à une classification botanique et structurale standardisée sur l'ensemble des formations de Nouvelle-Calédonie.

Elle a également permis de calculer les superficies des différentes formations de mangroves et des strates végétales qui les composent.

Les mangroves de Nouvelle-Calédonie couvrent 35 100 hectares (tannes et zones de marais à cypéracées inclus), essentiellement réparties sur la côte Ouest, valeur supérieure à celles estimées antérieurement ; Les strates arbustives et arborescentes des mangroves atteignent 25 900 hectares alors que les tannes et marais couvrent 9 300 hectares.

Cet atlas cartographique, qui représente un état des lieux de l'ensemble des mangroves de Nouvelle-Calédonie en 2007, constitue la première étape incontournable d'un grand projet pluridisciplinaire relatif aux mangroves.

Servant de base standardisée, il devra permettre :

- d'une part, d'identifier les zones de mangroves prioritaires pour la conservation et l'exploitation durable de ces ressources.
- d'autre part, de caractériser et étudier ultérieurement :
 - *le fonctionnement des mangroves en Nouvelle-Calédonie,*
 - *leurs réponses aux impacts qu'elles subissent par différentes activités,*
 - *les divers usages qui en sont fait,*

trois thèmes d'intérêt majeur pour la gestion de cet écosystème.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Al-Tahir, R., 1998. Monitoring spatial changes of mangrove wetlands using aerial images. Department of Surveying and Land Information, The University of the West Indies, Trinidad and Tobago, Commission III, Working Group 5 : 5 p.
- Baltzer F., 1969. Les formations végétales associées au delta de la Dumbéa et leurs indications écologiques, géomorphologiques et sédimentologiques mises en évidence par la cartographie. Cahier ORSTOM, série Géologie, I, 1 : 59-64.
- Blasco, F., Gauquelin, T., Rasolofoharino, M., Denis, J., Aizpuru, M. et Caldairou, V., 1998. Recent advances in mangrove studies using remote sensing data. *Marine and Freshwater Research* 49 (4) : 287 - 296
- Calzadilla-Perez, A., Damen, M.C.J., Geneletti, D., Hobma, T.W., 2002. Monitoring a recent delta formation in a tropical coastal wetland using remote sensing and GIS. Case study : Guapo River delta, Laguna de Tacarigua, Venezuela. *Environment, development and Sustainability* 4: 201-219.
- Dahdouh-Guebas, F., 2002. The use of remote sensing and GIS in the sustainable management of tropical coastal ecosystems. Laboratory of General Botany and Nature Management, Mangrove Management Group, Vrije Universiteit Brussel, Belgium, *Environment, Development and Sustainability* 4 : 93–112.
- Din, N., Lacaze, D. et Blasco, F., 2001. Carte thématique des mangroves de l'estuaire du Rio Del Rey (Cameroun) par photo-interprétation et SIG : 13 p.
- Dufermon A., 2006. Etude sur la mise en place d'une méthodologie pour définir le trait de côte dans les estuaires et les zones de mangrove en Nouvelle-Calédonie. Rapport de stage à la DITTT de Nouvelle-Calédonie pour l'IUP Génie des Territoires et de l'Environnement de l'Université de Franche - Comté, juil-août 2006 :
- Duke N., 2006. Australia's mangrove. The authoritative guide to Australia's mangrove plants. University of Queensland : 200 p.
- Duke C. N., Ball C. M., Ellison J. C., 2003. Factors influencing biodiversity and distributional gradients I mangroves. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 7 : 27-47.
- Duke, N.C., Lawn, P., Roelfsema, C.M., Zahmel, K.N., Pederen, D., Harris, C., Steggles, N., Tack, C., 2003. Assessing historical change in coastal environments – Port Curtis, Fitzroy Estuary and Moreton Bay Regions. The University of Queensland, Marine Botany Group, Centre for Marine Studies, Report to the Cooperative Research Centre for Coastal Zone Estuary and Waterway Management, July 2003.
- Environmental Protection Agency, 2005. Wetland mapping and classification methodology – Overall Framework – A method to provide baseline mapping and classification for wetlands in Queensland, Version 1.2, Queensland Government, Brisbane : 45 p.
- Fromard, F., Vega, C., Proisy, C., 2004. Half a century of dynamic coastal change affecting mangrove shorelines of French Guiana. A case study based on remote sensing data analyses and field surveys. *Marine Geology* 208 : 265 – 280.
- Golder Associates, 2006. Intertidal vegetation study - Koniambo Nickel Project of New Caledonia – Report Stage 2, draft : 56 p + cartes.
- Green, E. P., Mumby, P.J., Edwards, A.J., Clarks, C.D., (Ed. A.J. Edwards), 2000. Remote sensing handbook for tropical coastal management. Coastal Management Sourcebooks 3, UNESCO, Paris : 316 p.
- Krause, G., Bock, M., Weiers, S., and Braun, G., 2004. Mapping Land-Cover and Mangrove Structures with Remote Sensing Techniques: A Contribution to a Synoptic GIS in Support of Coastal Management in North Brazil. [Environmental Management, Volume 34, Number 3 / September, 2004](#) : 429-440

- Manson, F.J., Loneragan, N.R., Phinn, S.R., 2003. Spatial and temporal variation in distribution of mangroves in Moreton Bay, subtropical Australia : a comparison of pattern metrics and change detection analyses based on aerial photographs. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 57: 653-666.
- Morat, P., Jaffré, T., Veillon, J.M. et MacKee, H.S., 1981. Végétation. Planche 15 In : Atlas de Nouvelle-Calédonie et dépendances. Paris (France) ORSTOM : 108 p. et 53 planches.
- Muzinger, J. et Lebigre, J.M., 2006. The flora of New Caledonian mangrove swamps. In *Compendium of marine species from New Caledonia* (C. Payri et B. Richer de Forges Ed.), IRD Nouméa, Doc. Sci. Tech. II7, Volume special : 61-65.
- Rodriguez, W. et Feller, I.C., 2004. Mangrove landscape characterization and change in twin cays, Belize using aerial photography and Ikonos satellite data. *Smithsonian Institution, Washington D.C., Atoll Research Bulletin* 513 : 10 p.
- Saenger, P., 2002. Mangrove ecology, silviculture and conservation. Australia, Lismore University : 362 p.
- Schelling, D.M., Counihan, R., Moss, A., Cox, M., & Bennet, J., 2004. Estuarine, coastal and marine indicators for regional NRM monitoring – Executive Summary and recommendations. CRC for Coastal Zone, Estuary and Waterway Management, May 2004: 8 p.
- Spalding, M., Blasco, F. and Field, C., 1997. World Mangrove Atlas. International Society of Mangrove Ecosystem : 178 p.
- Thollot, P., 1992. Contribution des données satellitaires à la connaissance des ressources halieutiques côtières : les poissons de mangrove du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. In Bour, W., Loubersac, L. (Ed.) : « Pix'iles 90 », télédétection et milieux insulaires du Pacifique : approches intégrées. ORSTOM, Journées internationales Pix'iles 90 , 19-24 novembre 1990 : 233-244.
- Thollot P., Wantiez L., 1996. Les mangroves du littoral du Grand Nouméa – Inventaire, caractérisation écologique, pressions anthropiques. T&W Consultants pour la Province Sud de Nouvelle-Calédonie : 60 p.
- Verheyden, A., Dahdouh-Guebas, F., Thomaes, K., De Genst, W., Hettiarachchi, S., Koedam, N., 2002. High resolution vegetation data for mangrove research as obtained from aerial photography. *Kluwer Academic Publishers, Environment, Development and Sustainability* 4 : 113–133.
- Virly S., 2002. Caractérisation de l'environnement marin dans le cadre du projet de ferme aquacole à Ouanéco (Région de Poya) : Rapport de mission. Commanditaire ETEC, juillet 2002 : 11 p.
- Virly S., 2003. Caractérisation de l'environnement marin dans le cadre du projet de ferme aquacole à Mévouanné (Région de Ouano) : Rapport de mission. Commanditaire ETEC, Sabrina Virly Consultant, mars 2003 : 13 p.
- Virly S., 2003. Caractérisation de la mangrove de l'Anse Apogoti à Dumbéa. Rapport de mission. Commanditaire ETEC, mars 2003 : 13 p.
- Virly, S., 2005. Evaluation de l'impact de l'aquaculture de crevettes sur les mangroves de Nouvelle-Calédonie : Rapport final. Sabrina Virly Consultant pour le Programme ZoNéCo, mai 2005 : 99 p + annexes
- Virly S., 2005. Caractérisation de la mangrove à proximité du Centre d'Enfouissement Technique du Mont Dore. Commanditaire GINGER – SOPRONER, Sabrina Virly Consultant, novembre 2005 : 21 p.
- Virly, S. 2006. Caractérisation de la mangrove au droit du futur ISD de la Kataviti (Koné) – Rapport d'expertise : Commanditaire GINGER – SOPRONER, Sabrina Virly Consultant : 19 p.
- Virly S., 2006. Notice d'impact sur l'environnement pour l'aménagement d'un sentier dans la mangrove de Ouémo. Commanditaire Service de l'environnement – DRN – Province Sud de Nouvelle-Calédonie, Sabrina Virly Consultant, avril 2006 : 48 p.
- Virly S., 2007. Etude d'impact sur l'environnement du projet de ferme aquacole au sud de Ouaco – Etat initial de la zone marine. Sabrina Virly Consultant pour GEOIMPACT, avril 2007 : 9 p.

ANNEXES

**Annexe 1 : Superficie des sites de mangroves de Nouvelle-Calédonie identifiés par photo-
interprétation**

Annexe 2 : Liste des planches cartographiques de l'atlas des mangroves de Nouvelle-Calédonie

			Superficie (hectares)			
Province	Region	Site	Mangrove arbustive ou arborescente	Zone de tannes ou de marais	Autre (non mangrove ou mangrove morte)	Total
Iles	Ouvea	Lekine	6	13		73
		Ngimeck	161			161
		Tia Sala	0,5			0,5
	Total Ouvea		222	13		235
Total Iles			222	13		235
Nord	Arama	Arama	46	3	0,2	67
		Nijjeec	1			1,0
		Phagaany	117	15	0,4	133
		Pujam	12	14	1,3	118
	Total Arama		266	5	1,9	319
	Balabio	Balabio nord est	4	16		20
	Total Balabio		4	16		20
	Bélep	Ile Art	4			4
		Ile Pott ouest	27			27
		Ile Pott sud	1,1			1,1
	Total Bélep		32			32
	Canala	Canala	333	24	2,8	360
		Ouasse	2			11
		Ouest Bogota	8			8
	Total Canala		352	24	2,8	378
	Diahot	Baie Pilou	74	62	0,2	136
		Bwalayet	433	55		488
		Diahot	1685	422	69	2176
		Ile Pam	12	19		121
		Illet cocotier	1,6			11
		Nord Tiari	1,5			1,5
		Pam	14	2,3	0,6	16
		Sud Tiari	3	0,1		3
		Tiari	174	71	3	248
	Total Diahot		2498	631	72	3201
	Hienghène	Koulnoué	38	6		44
		La Poule	12			12
		Maina	83	15	0,4	99
		Rivière Hienghène	7			7
		Rivière Tanghène	16			15
		Tipindjé	30	1,0		31
	Total Hienghène		185	22	0,4	208
	Houailou	Ba	41			41
		Cap Bocage	7			7
		Houailou	43		4	47
		Nékoué	1,4			1,4
	Total Houailou		93		4	97
	Kaalagomen	Estuaire Kaala	482	433	89	1004
		Nord baie Gomen	3	27	0,7	31
		Sud baie Gomen	17	10	1,4	27
		sud pointe Karembe	48	14	5	66
	Total Kaalagomen		549	484	95	1129
	Kouaoua	Kouaoua	14			14
	Total Kouaoua		14			14

			Superficie (hectares)			
Province	Region	Site	Mangrove arbustive ou arborescente	Zone de tannes ou de marais	Autre (non mangrove ou mangrove morte)	Total
	Koumac	Aérodrome Koumac	39	2	6	66
		Koumac Pandop	11	4		16
		Nord Pagoumène	5			4
		Ouanac	47	27	6	80
		Pagoumène	2,0			2
		Wharf Tangadiou	1,8	3		5
		sud wharf Karembé	2,2	2	0,2	23
		nord wharf Karembé	44	9	0,7	54
		sud Paagoumène	4	2		33
	Total Koumac		2	70	13	283
	Ouaco	Nord Koueko	10	16		26
		Nord Ouaco	78	82	3	163
		Patiepe	168	162	1	340
		Sud Cap Déverd	83	40	14	137
		Tehelite	96	67		163
	Total Ouaco		435	367	28	829
	Ouégoa	Balabio est	0,5	3		3
		Balabio ouest	173	76	9	257
	Total Ouégoa		174	79	9	260
	Poindimié	Ouindo	39			39
		Paama	24		0,6	24
		Pwééo	77			77
		Rivière Amoa	1			0,6
		Rivière Tiwaka	15			15
		Tchamba	13			130
	Total Poindimié		284		0,6	285
	Ponérihouen	Baie Ugué	19	0,5		19
		Monéo	12			12
		Mou	9			9
		Ponérihouen	8			8
		Ponérihouen est	12	0,9		13
		Sud Ponérihouen	1			0,8
	Total Ponérihouen		7	1,4		62
	Pouébo	Balade	187	13	0,6	201
		Cap Colnett	7			7
		Maamat	55	12	0,9	68
		Nord Balade	0,9			0,9
		Oubatche	19	2,7		22
		Pouébo	58	2,7	1,9	62
		Saint Paul	27	1,9	2,0	274
		Sainte Marie	97	2,8		100
		Ste Marie Pouébo	25	29	1,3	280
		Tchambouenne	8	10	2	82
		Yambé	0,6			0,6
	Total Pouébo		16	83	7	1097

Province	Region	Site	Superficie (hectares)			Total
			Mangrove arbustive ou arborescente	Zone de tannes ou de marais	Autre (non mangrove ou mangrove morte)	
	Poum	Anse Pouani	272	19	6	297
		Baaba	47	112	0,3	519
		Baie Banaré	12	2		23
		Baie Poum	282	3	1,1	312
		Bayu	14	7	3,0	23
		Bolee	261	3	0,6	292
		Cabwi		3		3
		Ile Boh	16	38		55
		Ilot Néén	8			8
		Maa La Boac	7	4	0,6	11
		Malabou	7			7
		Nord Néhoué	321	78	5,2	404
		Nord Oumap	23	17	0,4	40
		Nord Tiabet	169	40	1,9	210
		Poingame	2	6		8
		Pointe Pourthier	22	22		44
		Pointe Tiabat	6	1,3		8
		Pointe Tiabet	6	14	0,2	20
		Poum	1,4	0,4		11
		Sud Néhoué	35	46	6,7	358
		Sud Oumap	13	17		31
		Yandé	1,1			10
		Yenghebane	3			3
		nord Baie Banaré	54	4	1,0	85
		nord presqu'île Tébane	162	3	9	202
		presqu'île Golonne	16	12	5	33
	Total Poum		250	558	49	3017
	Poya	Anse Mondoni	19	35	1	55
		Baie de Muéo	116	28	7	151
		Baie de Népoui	27	125	2	333
		Baie de Poya	839	311	3	1153
		Baie Nekoro	150	17		256
		Ile Djie	22	2,4	25	50
		Ilot Didot	3			3
		Ilot Grimault	5			5
		presqu'île Nekoro	11	0,6		12
		presqu'île Pindai	59	18	2	79
		presqu'île Beco	52	1,5		62
	Total Poya		1482	638	39	2159
	Temala Pou	Canecout	124	13	8	253
		Gatope	49	8		57
		Ouécou	98	26	3	126
		Pouaco Est	23	66	23	292
		Pouaco Ouest	56	17		73
		Pouanga	43	28		70
		Temala	96	428	33	1367
	Total Temala Pou		1479	694	67	2239

Province	Region	Site	Superficie (hectares)			Total
			Mangrove arbustive ou arborescente	Zone de tannes ou de marais	Autre (non mangrove ou mangrove morte)	
	Touho	Amoa	15	0,5		15
		Baie Touho	2,0			11
		Nord Kokengone	1,8			1,8
		Sud Touho	0,2			0,2
		Touho	14	0,6		105
		Vieux Touho	167	0,3		167
	Total Touho		299	0,9		300
	VKP	Baie Confiance	38	12	2	52
		Baie Vavouto	558	297	2	857
		Estuaire Koné	1257	480	6	1741
		Gatope		0,1		0,1
		Gatope sud	35	10	0,1	45
		Goyeta	95	19	7	121
		Ile Gatope	1,2			1,2
		Oundjo	8	13	4	87
		Petit Koniène	3			3
		Pindou	62	8	3	73
		Pinjen	213	46	1,3	260
		Pinjane	560	19	19	597
		Plaine des Gaiacs	139	38	1,4	178
		Pointe aux serpents	11	3		14
		Rivière Pouembout	753	519	20	1291
		Sud Foué	4	9		12
		nord plage Franco	48	13	12	73
		sud plage Franco	10	1,2		11
		presqu'île Foué	5			5
		presqu'île Vavouto	15	0,7		15
	Total VKP		3876	1485	76	5438
Total Nord			15697	522	467	21366

Province	Region	Site	Superficie (hectares)			Total
			Mangrove arbustive ou arborescente	Zone de tannes ou de marais	Autre (non mangrove ou mangrove morte)	
Sud	Bourail	Baie du Cap	21	12		34
		Cap Goulvain	7	2	0,5	10
		La Roche	113		1,4	115
		Le Cap	186	57	10	253
		Mewa Pohiru	242	12	76	421
		Nessadiou	247	112		359
		Sud Pointe Bellengez	71	24		94
		Total Bourail	888	38	88	1285
	Dumbéa	Anse Apogoti	28	7		34
		Baie Hoff	67	38	14	119
		Baie Taa	27	2		29
		Embouchure Dumbea	34	3	0,4	38
		Riviere Dumbea	123	15	6	143
		Total Dumbéa	279	64	2	364
	Ile Ouen	Ile Ouen	4			4
	Total Ile Ouen		4			4
	Koutio	Caillou bleu	54	2,2	0,5	57
		Nord Baie Kouéta	16	4,1	0,3	20
		Nord SPANC	13	0,2		13
		Sud Pic aux morts	0,6			0,6
		Sud Quarantaine	1,6	0,6		10
		Total Koutio	95	7	0,8	101
	La Foa	Baie Chambeyron	476	182	12	671
		Baie Foni	99	59	1,2	158
		Baie Ouano	44	17	0,2	62
		Ilots Testard	5			5
		La Foa	70	22	0,9	92
		Nord Méwouané	97	34		131
		Presqu'île Gardner	16	34	1,8	187
		Sud Méwouané	485	112		596
		presqu'île Ouano	47	14	0,1	62
		Total La Foa	1474	474	16	1964
	Moindou	Nord Kéré	98	35		133
		Pointe Koyé	276	36	1,1	313
		Pointe Martin	37	15		51
		Rivière Moindou	1540	697	24	2259
		Sodacal	163	26	3	192
		Sud Kéré	124	32	2,2	158
		Sud Pointe Noire	20	16		35
		Sud presqu'île Tanghy	2	17		118
		presqu'île Grandjo	387	47	69	503
		Total Moindou	2744	919	100	3762
	Mont Dore	Baie de Plum	2			2
		Conception	7	2		9
		La Coulée	89	30	5,3	123
		La déchetterie	1			10
		Pont des Francais	17	1,5	0,4	18
		Robinson	16	0,9		17
		Saint Louis	15	1,8		16
		Saint Michel	19	1,3		29
		Sud Mont Dore	6			6
		Vallon Dore	14	6	1,2	20
		Total Mont Dore	193	5	6,9	250

			Superficie (hectares)			
Province	Region	Site	Mangrove arbustive ou arborescente	Zone de tannes ou de marais	Autre (non mangrove ou mangrove morte)	Total
	Nouméa	4ième km	4	0,2	3,1	34
		Ilots Ste Marie	4			4
		Kaméré - Tindu	43	2		45
		Magenta	8	0,1		9
		Ouémo	32	3	3,3	39
		Tina	84	11	0,7	96
		Tina presque île	1,3			1,3
		Total Nouméa	24	17	7,1	228
	Païta	Baie de Gadji	49	13	0,1	62
		Baie Nénouiré	33	2		53
		Baie Taureau	20	10		29
		Ilot Ndu	0,4			0,4
		Ondémia	0,2			0,2
		Ondémia nord	17	4		22
		Ondémia sud	417	59	4,3	480
		Port Laguerre	6	2	0,1	62
		presqu'île Ndé	3	0,9		4
		Total Païta	7	18	4,5	713
	Poya	Baie de Poya	544	189		733
		Rivière Kapuidéa	55	24	56	134
		Rivière Karavéré	66	66		132
		Station Beauprés	28	18		45
		sud presqu'île Porwi	9	8		17
		sud pointe Moglin	39	62		100
		Total Poya	74	366	56	1161
	Prony	Baie Carénage	12			12
		Baie Somme	1,2			1,2
		Bonne Anse	0,4			0,4
		Montravel	0,5			0,5
		Baie Nord	1,4			1,4
		Baie Ouest	0,3			0,3
		Total Prony	16			16

			Superficie (hectares)				
Province	Region	Site	Mangrove arbustive ou arborescente	Zone de tannes ou de marais	Autre (non mangrove ou mangrove morte)	Total	
	St Vincent	Baie Arembo	25	25	0,7	51	
		Baie aux Tortues	16	4		20	
		Baie Déama	8	60		68	
		Baie Déama est	17	9		26	
		Baie Déama nord	218	439	28	684	
		Baie Déama ouest	49	41	7	97	
		Baie Nawa	112	181	2,2	296	
		Baie Ouenghi	83	34		118	
		Bouraké	213	47		261	
		Champ malheur	18	11	0,3	29	
		Est Baie Inaccessibl	10	0		10	
		Ile Ducos	12	45	0,8	58	
		Ile Lepreidour	162	25	1,0	188	
		Ile Longue	1,1			1,0	
		Ile Ndukué	0,3			0,3	
		Ile Page	1,0			1,0	
		Ilot cocotier	0,7			0,7	
		Ilot Hugon	5,5			5	
		Ilot Julien	0,1			0,1	
		Ilot Matthieu	0,8			0,8	
		Ilot Puen	4			4	
		Ilots Parseval	3			3	
		Rivière Tamoia	690	223		912	
		Sud Baie Inaccessibl	73	45		117	
		Sud Rivière Tontouta	32	11		43	
		nord presqu'île Rousseau	17	36		142	
		presqu'île Uitoie nord	13	9		22	
		presqu'île Montagnés	8	1,4		9	
		presqu'île Uitoie sud	3	29		33	
		nord rivière Tontouta	326	396	1,6	724	
		presqu'île Beauprés	22	9		31	
	Total St Vincent			2232	1682	41	3954
	Thio	Bota Mere	1,2			1,2	
		Ile Nemu	0,7			0,7	
		Ile Tupeti	2,2			2,2	
		Quinné	0,7			0,7	
		Petit Borindi	2,5			3	
		Rivière Néma	7,0			7	
		Saint Roch	0,7			0,7	
		St Jean Baptiste	12			12	
		Granord Borindi	26	0,2		26	
	Total Thio			53	0,2		53
	Yaté	Embouchure Yaté	4			4	
		Goro	4			4	
		Ile Nu Neae	4			40	
		Kwe Binyi	89	1,8	6	106	
		Mamié	12			12	
		Muruto	18			18	
		Nord Goro	10			10	
		Petit Ounia	148	1,2	1,3	150	
		Saint Raphael	14			14	
		Sud Kwe Binyi	14			14	
		Wé Béréké	7			7	
		Wé Ngéré	86	1,9		87	
	Total Yaté			444	14	7	465
Total Sud			9965	49	347	14321	
Total			25884	9224	813	35921	

Annexe 2

Planche	Echelle	Côte	Région	Site	Lieu-dits inclus
1	20 000	OUEST	OUEEN	Ile Ouen	
2	15 000	OUEST	PRONY	Baie du Carénage	
3	10 000	OUEST	PRONY	Baie de la Somme	
4	20 000	OUEST	PRONY	Baie de Prony	Montravel, B. Nord, B. Ouest, Bonne Anse
5	10 000	OUEST	MONT DORE	Baie de Plum	
6	12 000	OUEST	MONT DORE	Mont Dore Sud	
7	10 000	OUEST	MONT DORE	Vallon Dore	
8	10 000	OUEST	MONT DORE	La Coulée & Déchetterie	
9	10 000	OUEST	MONT DORE	Saint Louis	Saint Louis, Saint Michel
10	10 000	OUEST	MONT DORE	Robinson	
11	10 000	OUEST	MONT DORE	Conception Pont des Français	
12	10 000	OUEST	NOUMEA	Tina	
13	10 000	OUEST	NOUMEA	Magenta	
14	10 000	OUEST	NOUMEA	Ouéno	
15	10 000	OUEST	NOUMEA	4ième	
16	10 000	OUEST	NOUMEA	Kaméré - Tindu	
17	12 000	OUEST	KOUTIO	Baie de Koutio-Kouéta	
18	10 000	OUEST	DUMBEA	Anse Apogoti - Baie de Taa	Anse Apogoti - Baie de Taa
19	15 000	OUEST	DUMBEA	Rivière Dumbéa	Toute la rivière, Baie Hoff, Pointe à la Luzerne
20	10 000	OUEST	PAITA	Baie Gadjji	Baie de Gadjji
21	10 000	OUEST	PAITA	Baie Taureau	
22	18 000	OUEST	PAITA	Ondémia	
23	13 000	OUEST	PAITA	Port Laguerre	
24	10 000	OUEST	PAITA	Baie de Nénouiré	Baie Nénouiré - Presqu'île Ndé
25	10 000	OUEST	SAINT VINCENT	Champ de malheur	
26	17 000	OUEST	SAINT VINCENT	Presqu'île de Uitoé	
27	10 000	OUEST	SAINT VINCENT	Baie inaccessible	Goulet Presqu'île Uitoé, au sud de la Baie Inaccessible
28	20 000	OUEST	SAINT VINCENT	Presqu'île de Montagnés	Presqu'île Montagnés, îlots Cocotier, Gouli, nord Baie Inaccessible
29	20 000	OUEST	SAINT VINCENT	Rivière La Tamoia	La Tamoia, Baie des crevettes
30	10 000	OUEST	SAINT VINCENT	Sud Rivière La Tontouta	Sud rivière Tontouta, Baie des Tortues
31	18 000	OUEST	SAINT VINCENT	Nord Rivière La Tontouta	
32	10 000	OUEST	SAINT VINCENT	Baie Ouenghi	
33	12 000	OUEST	SAINT VINCENT	Rivière Ouenghi	Baie Nawa (Sud Station aq et Nord baie de la Ouenghi - rivière La ouenghi)
34	10 000	OUEST	SAINT VINCENT	Presqu'île Beauprés	
35	10 000	OUEST	SAINT VINCENT	Baie Déama	
36	16 000	OUEST	SAINT VINCENT	Nord Baie Déama	Port Ouenghi
37	16 000	OUEST	SAINT VINCENT	Baie Deremba	
38	16 000	OUEST	SAINT VINCENT	Bouraké	Nord ouest baie Déama, Bouraké
39	50 000	OUEST	SAINT VINCENT	Îlots de la Baie de Saint Vincent	Lepreidour, Puen, Ducos, Parseval, Hugon, Longue, Page
40	10 000	OUEST	LA FOA	Presqu'île Rousseau	Nord de la presqu'île
41	15 000	OUEST	LA FOA	Presqu'île Gardner	Nord et sud de la presqu'île
42	25 000	OUEST	LA FOA	Nord presqu'île Gardner	
43	25 000	OUEST	LA FOA	Sud Ouano	
44	15 000	OUEST	LA FOA	Presqu'île Ouano	
45	18 000	OUEST	LA FOA	Baie de Chambeyron	
46	18 000	OUEST	LA FOA	Baie de Foni	
47	25 000	OUEST	LA FOA	Presqu'île Lebris	Ouest de la presqu'île
48	28 000	OUEST	LA FOA	Rivière La Foa	

Planche		Echelle	Côte	Région	Site	Lieu-dits inclus
49	12 000	OUEST	MOINDOU	Fort Térémba		Fort Térémba - ouest de la rivière La Foa
50	10 000	OUEST	MOINDOU	Presqu'île Tanghy		Est presqu'île Tanghi - Ferme aquacole Sodacal
51	18 000	OUEST	MOINDOU	Presqu'île Grandjo		
52	15 000	OUEST	MOINDOU	Rivière Moindou		parties est et nord de la Baie de Moindou
53	12 000	OUEST	MOINDOU	Baie Moindou		partie sud-ouest de la Baie de Moindou
54	12 000	OUEST	MOINDOU	Kélé		nord et sud de la tribu de Kéré
55	10 000	OUEST	MOINDOU	Pointe Carré Février		nord et sud de la Pointe - Mwéré Mwéru
56	10 000	OUEST	MOINDOU	Pointe Martin		nord et sud de la Pointe
57	20 000	OUEST	MOINDOU	Pointe Noire		nord et sud de la Pointe
58	15 000	OUEST	BOURAIL	Pointe Bellenguez		
59	13 000	OUEST	BOURAIL	Rivière Nessadiou		
60	12 000	OUEST	BOURAIL	Rivière Néra		
61	14 000	OUEST	BOURAIL	Coupée Cap Goulvain		
62	18 000	OUEST	POYA	Kapuidéa		
63	20 000	OUEST	POYA	Beauprés - Ouanéco		
64	20 000	OUEST	POYA	Pointe Moglin		Entre Ouanéco et Pointe Moglin
65	10 000	OUEST	POYA	Presqu'île Porwi		Sud de la presqu'île
66	26 000	OUEST	POYA	Baie de Poya		Rivière Poya - Népou
67	10 000	OUEST	POYA	Anse Mondoni		
68	12 000	OUEST	POYA	Presqu'île Béco		
69	20 000	OUEST	POYA	Baie Nékoro		Ile Djé, Ile Grimault, Ilot Didot, Baie Nékoro
70	15 000	OUEST	POYA	Baie de Muéo		Presqu'île Nékoro - Baie de Muéo
71	13 000	OUEST	POYA	Baie de Népoui		
72	12 000	OUEST	POYA	Presqu'île Pindai		
73	13 000	OUEST	POYA	Baie de Kuhn		
74	15 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Plaine des Galacs		
75	20 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Baie Blanche		
76	12 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Plage de Franco		
77	14 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Goyeta		
78	10 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Nord Goyeta		Pointe aux serpents
79	25 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Pouembout		Estuaire Pouembout (Rivières Pouembout Nindia & Poemba)
80	10 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Presqu'île de Foué		
81	25 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Koné - Kataviti		Estuaire de La Koné (Rivières Koné & Kataviti) - Baie Kataviti
82	15 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Pinjen		
83	15 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Ile Pingiane		
84	10 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Oundjo		nord et sud
85	15 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Pointe Vavouto		
86	18 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Anse Vavouto		
87	15 000	OUEST	VOH-KONE-POUEMBOUT	Presqu'île de Gatope		
88	24 000	OUEST	TEMALA - POUANGA	Baie Chasseloup		Rivière Témala
89	12 000	OUEST	TEMALA - POUANGA	Anse Pouaco		parties est et ouest
90	12 000	OUEST	TEMALA - POUANGA	Canecout		Sud Canecout jusqu'à Pointe aux serpents
91	15 000	OUEST	TEMALA - POUANGA	Anse Pouanga		

92	13 000	OUEST	OUACO	Pointe Patiepe		
93	13 000	OUEST	OUACO	Tehelite		Nord Kouéko à Sud Ouaco Tehelite
94	10 000	OUEST	OUACO	Sud Ouaco		
95	12 000	OUEST	OUACO	Nord Ouaco		
96	18 000	OUEST	OUACO	Teu & Tinip		Sud du Cap Déverd
97	16 000	OUEST	KAALA-GOMEN	Est Baie Gomen		
98	22 000	OUEST	KAALA-GOMEN	Pointe Iounga		Estuaire de la Kaala Gomen
99	14 000	OUEST	KAALA-GOMEN	Plaine de Bo		De la pointe Karembe au nord de Kaala
100	10 000	OUEST	KOUMAC	Wharf Karembe		
101	10 000	OUEST	KOUMAC	Sud Pandop		du sud de Pandop au wharf Karembe
102	10 000	OUEST	KOUMAC	Nord Pandop		
103	10 000	OUEST	KOUMAC	Ouanac		Sud aéroport Koumac jusqu'à Pandop
104	10 000	OUEST	KOUMAC	Aérodrome Koumac		
105	17 000	OUEST	KOUMAC	Sud Paagoumène		
106	15 000	OUEST	KOUMAC	Baie d'Ohland		
107	20 000	OUEST	POUM	Baie de Néhoué		De Pointe Tiabet à Baie Néhoué
108	20 000	OUEST	POUM	Nord Baie Néhoué		
109	13 000	OUEST	POUM	Plateau de Tho - Pointe à Kim		
110	15 000	OUEST	POUM	Ile de Boh		
111	15 000	OUEST	POUM	Presqu'île de Golonne		
112	15 000	OUEST	POUM	Anse de Pouani		
113	12 000	OUEST	POUM	Baie de Poum		
114	10 000	OUEST	POUM	Nord Baie Poum		
115	10 000	OUEST	POUM	Presqu'île Tébane		
116	10 000	OUEST	POUM	Sud Baie Banaré		
117	13 000	OUEST	POUM	Nord Baie Banaré		
118	12 000	OUEST	POUM	Pointe Tiabet		
119	18 000	OUEST	POUM	Nord Tiabet		Du nord Tiabet jusqu'à Poingame
120	15 000	OUEST	POUM	Sud Ile Baaba		Sud de l'île et Boat Pass
121	15 000	OUEST	POUM	Nord Ile Baaba		
122	18 000	OUEST	POUM	Sud Ile Yandé		
123	15 000	OUEST	BELEP	Sud Ile Art		
124	20 000	OUEST	BELEP	Nord Ile Art		
125	10 000	OUEST	BELEP	Sud Ile Pott		
126	15 000	OUEST	BELEP	Nord Ile Pott		
127	10 000	EST	POUM	Poingame		
128	10 000	EST	POUM	Pointe Pouthier (Bate de Nolaao)		Baie Nolaao
129	10 000	EST	POUM	Bayu		Nomoja
130	10 000	EST	POUM	Cabwi - Maa la Boac		
131	10 000	EST	POUM	Nord Pointe Oumap		
132	15 000	EST	ARAMA	Pujam		Du sud de la Pointe Oumap au sud de Pu jam
133	15 000	EST	ARAMA	Naraac - Phagaany		Du sud de Pu jam au nord de Nijéec
134	15 000	EST	ARAMA	Arama		Du sud de Nijéec au sud d'Arama - Pointe Guyonnet
135	15 000	EST	ARAMA	Bwalayet		De l'embranchement RPN9 à Bwalayet

Planche	Echelle	Côte	Région	Site	Lieu-dits inclus
136	20 000	EST	DIAHOT	Sud Ile Balabio	
137	20 000	EST	DIAHOT	Ouest Ile Balabio	
138	20 000	EST	DIAHOT	Nord Ile Balabio	
139	10 000	EST	DIAHOT	Baie Pilou	
140	15 000	EST	DIAHOT	Embouchure Diahot	Forêt d'Ougne incluse
141	20 000	EST	DIAHOT	Fleuve intermédiaire Diahot	
142	23 000	EST	DIAHOT	Fleuve amont Diahot	
143	20 000	EST	DIAHOT	Ouégoa	Fleuve Diahot jusqu'à Ouégoa
144	20 000	EST	DIAHOT	Pam	Ile de Pam et Tribu de Pam
145	15 000	EST	DIAHOT	Tiari	
146	15 000	EST	BALADE-POUEBO	Maamat	nord et sud de Balade
147	15 000	EST	BALADE-POUEBO	Sainte Marie Saint Paul	
148	18 000	EST	BALADE-POUEBO	Pouébo	
149	17 000	EST	BALADE-POUEBO	Tchabouenne	
150	13 000	EST	BALADE-POUEBO	Oubatche	Du nord de Oubatche à Yambé
151	25 000	EST	BALADE-POUEBO	De Sud Cap Colnett à Bord Mont Panié	
152	25 000	EST	HIENGHENE	Panié	De Panié à la Ouatième
153	15 000	EST	HIENGHENE	Rivière Tanghène	
154	15 000	EST	HIENGHENE	Baie Hienghène	Rivière Hienghène et Poule Couveuse
155	12 000	EST	HIENGHENE	Lindéralique	
156	10 000	EST	HIENGHENE	Timpindjé	
157	10 000	EST	HIENGHENE	Maina	
158	12 000	EST	TOUHO	Vieux Touho	
159	10 000	EST	TOUHO	Baie Touho	Baie Poindia et baie Touho
160	10 000	EST	TOUHO	Aérodrome de Touho	Aérodrome de Touho et Ilot Atite
161	14 000	EST	TOUHO	Kokengonen - Tiwaka	
162	12 000	EST	POINDIMIE	Saint Denis	sud de la rivière Tiwaka jusqu'au nord de la rivière Amoa
163	10 000	EST	POINDIMIE	Rivière Amoa	
164	10 000	EST	POINDIMIE	Paama	
165	15 000	EST	POINDIMIE	Paabu - Wiido	
166	10 000	EST	POINDIMIE	Nord Tchamba	
167	20 000	EST	POINDIMIE	Rivière Tchamba	
168	15 000	EST	PONERHOUE	Rivière Ponérihouen	Rivière et est de Ponérihouen
169	10 000	EST	PONERHOUE	Rivière Mou	
170	10 000	EST	PONERHOUE	Embouchure Monéo	
171	12 000	EST	PONERHOUE	Nord Baie Ugué	
172	15 000	EST	HOUILLOU	Cap Bocage	
173	12 000	EST	HOUILLOU	Baie Lebris	
174	10 000	EST	HOUILLOU	Nékoué	
175	10 000	EST	HOUILLOU	Houailou	
176	15 000	EST	KOUAOUA	Kouaoua	
177	15 000	EST	CANALA	Baie de Canala	
178	10 000	EST	CANALA	Port Mackau	Ouest Bogota
179	20 000	EST	CANALA	Ouasse	

Planche	Echelle	Côte	Région	Site	Lieu-dits inclus
180	10 000	EST	THIO	Thio	
181	18 000	EST	THIO	Ile Nému	Port Bouquet et Ile Nému
182	18 000	EST	THIO	Ile Tupéti	Saint Roch à Tupéti
183	18 000	EST	THIO	Grand Borindi	Grand Borindi au nord Saint Jean Baptiste
184	12 000	EST	THIO	Saint Jean Baptiste	
185	12 000	EST	THIO	Petit Borindi	Petit Borindi (Néxwé Chéré)
186	20 000	EST	THIO	Ouiné	
187	15 000	EST	YATE	Petit Ounia	
188	15 000	EST	YATE	Mamié à Muruto	
189	15 000	EST	YATE	Wé Ngéré	
190	18 000	EST	YATE	Nord Baie de Yaté (Wé Béréké)	
191	20 000	EST	YATE	Presquille Kwé Binyi	Presqu'île Kwé Binyi - Saint Raphael
192	20 000	EST	YATE	Ile Nu Neae	Nord Goro et Ile Nu Neae
193	10 000	ILE	OUVEA	Lékine	
194	15 000	ILE	OUVEA	Tia Sala	
195	15 000	ILE	OUVEA	Njimec	

