

**Relations entre les caractéristiques physico-chimiques
du substrat et la nature des palétuviers
- *Implications sur la répartition spatiale des espèces* -**



**Rapport réalisé dans le cadre de l'opération ZoNéCo 2006 intitulée :
« Typologie et Biodiversité des Mangroves de Nouvelle-Calédonie »**

**Cyril Marchand
Institut de Recherche pour le Développement**

Mai 2007

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 cette zonation 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 (McKee, 1993), et finalement du taux de sédimentation (Ellison, 1998). La succession des espèces végétales, 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 ambiguës, 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 des propriétés physico-chimiques des sédiments (salinité, potentiel d'oxydo-réduction, pH) sous les différentes zones végétales rencontrées lors de la phase de terrain, 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.

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* et 1 sous *Ceriops*. 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 (cf. photo 1). 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 (cf. photo 2). 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 (cf. 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

3 Résultats et Discussion

Les résultats seront discuté par genre de mangrove.

3.1 Rhizophora

Sous le genre *Rhizophora*, la salinité des eaux interstitielles varie de 16 à 55, avec une moyenne proche de 40 mg/l (Tab. 2), ce qui est légèrement supérieur à la salinité des eaux du lagon. Cette salinité relativement élevée est probablement 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). Il n'existe pas d'évolution remarquable de la salinité avec la profondeur, excepté pour la carotte C17 (Fig. 1 et Tab. 3). Dans cette dernière, les valeurs augmentent, passant de 16 à 49 mg/l. 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. La stabilité des salinités autour de 40 mg/l, avec un écart-type proche de 6 (tab. 2), est un bon indicateur de la zone dans laquelle ce type de palétuvier peut se développer.

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 < 100 mV (Fig. 2). 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 lors du prélèvement, nous avons pu observer que la partie supérieure était desséchée.

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.

3.2 Avicennia

Sous le genre *Avicennia*, la salinité varie de 17 à 92 mg/l, 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. 3). La salinité moyenne en surface est proche de 50 mg/l 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. Tout comme pour les *Rhizophora*, l’évaporation est prépondérante dans l’augmentation de la salinité. En Nouvelle Calédonie, les

Avicennia se situent derrière les *Rhizophora* à une élévation topographique légèrement supérieure. Ceci implique que les sédiments sous *Avicennia* sont plus souvent découverts et donc soumis à des phénomènes d'évaporation plus importants. Cependant, en 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 possède les *Avicennia* (Fig. 3).

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 proche de 200 mV dans leur partie supérieure (Tab.3 et Fig. 4), 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 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.

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 seraient 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.

3.3 *Bruguiera*, *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 pas représentatif et ne peut fournir que des indications.

Les profils mesurés sous *Bruguiera*, *Lumnitzera* et *Ceriops* sont présentés dans la figure 5, 6, et 7, 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, 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. Leurs positions 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 influencer les résultats.

Les Eh varient entre 200 et 300 mV sans réelle tendance avec la profondeur (Fig. 7), 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 Synthèse

Tout d'abord, cette étude souligne le fait que la zonation des mangroves est le résultat d'une combinaison de paramètres, incluant la salinité, la nature du substrat, l'élévation de la zone et le positionnement par rapport aux apports d'eaux douces continentales et d'eaux douces lagonnaires, et qu'il est, par conséquent, délicat de déterminer le facteur discriminant. D'autre part, cette étude a confirmé que des influences réciproques importantes existent entre le palétuvier et le sédiment sur lequel il se développe.

Ainsi, nous avons pu mettre en évidence que les *Avicennia* ont une tolérance importante vis-à-vis de la salinité. Ils peuvent se développer dans des zones rarement recouvertes par les marées, et soumises à

une forte évaporation et donc possédant une forte salinité. Cependant à leur tour, les phénomènes de transpiration engendrés par les *Avicennia* vont induire 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*. Les *Rhizophora*, quant à eux, se développent principalement en front de mer, ce qui leur permet d'avoir une salinité tamponnée avec des valeurs moyennes autour de 40. Ils peuvent se développer sur de la vase, du sable et même sur d'anciens récifs. Ce genre de palétuviers ne supportent pas les salinités trop élevées qui les font dépérir et font évoluer la zone vers un tanne. Tanne qui pourra être recolonisé par la suite par des *Avicennia* ou bien à nouveau par des *Rhizophora* si les hydrocirculations sont modifiées et que des apports fréquents d'eau reprennent. Les hydrocirculations 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 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, soit par l'installation de piézomètre dans les mangroves. Les influences respectives des *Avicennia* et des *Rhizophora* sur la géochimie du 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 oxyhydroxydes 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.



Photo 1 : Introduction de la tarière gouge dans le sédiment



Photo 2 : Extraction d'eau interstitielle à l'aide des Rhizons[®]. Ces derniers sont connectés à des seringues en dépression dans lesquelles l'eau est collectée.