



## Résumé

Les lagons d'atolls des Tuamotu constituent des milieux qui peuvent être riches en huîtres perlières. Ces huîtres font l'objet d'une aquaculture intensive depuis les années 1970, et plusieurs organismes de recherche ont donc étudié ces écosystèmes, leur fonctionnement et leur productivité.

Les huîtres pictadines étant des filtreurs, un effort particulier a été fait pour déterminer la nature et la diversité des planctons ingérés (phytoplancton végétal et zooplancton animal). Les résultats montrent l'importance de la taille de ces particules planctoniques dans la croissance des huîtres, et la prédominance du rôle des minuscules nanoflagellés.

Dans les grands lagons profonds, l'abondance du plancton est inversement proportionnelle à leur degré d'ouverture sur les eaux océaniques très pauvres (paradoxe des atolls oasis)

## Tumu parau

Te mau tairoto no te pae Tuamotu mā, e mau vāhi au maitai teie no te poe pārau. Mai te area matahiti 1970, ua maraa mai te faaapu pārau e no reira, e rave rahi mau pū māimi i titorotoro i taua mau motu ra, to rātou faanahoraa e to rātou faahoturaa.

E titiā te pārau i te pape miti e e tāpeā ò na i te māa e vai ra i roto. Ua tautoo te feiā māimi ia taa pāpū maitai e aha te mau māa ta na e tāpeā (te remu huāhuā e te mau mea oraora nainai). Ia au i te mau haamāramaramaraa i noaa mai, e mea faufaa te āano o te mau māa huāhuā ta te pārau e tāpeā no to na paariraa, e faufaa rahi atoā to te oratai nainai piihia nanoflagellés.

I roto i te mau tairoto rahi e te hohonu, a āano noa atu ā to rātou ava e a rahi noa atu ā te tereraa miti no tua mai, a iti atoā mai ia te māa plancton i roto i taua mau tairoto ra.

Par **Loïc Charpy**, directeur de recherche IRD

**Marie-José Langlade**, technicienne océanographe IRD

marie-jose.langlade@ird.fr

L'Orstom-IRD est présent depuis 50 ans en Polynésie, mais c'est à partir de 1982 que cet institut s'est intéressé au fonctionnement des lagons d'atolls pour optimiser leur exploitation. Nous présentons ici les recherches dont l'objectif final était l'amélioration et la pérennisation de la perliculture. Les lagons d'atolls polynésiens étaient relativement peu connus, excepté l'atoll de Takapoto qui avait été étudié dans le cadre du programme MAB (Man And Biosphere).

Les huîtres perlières étant des filtreurs, nos études ont porté sur les particules organiques en suspension dans les eaux, en les quantifiant et en les caractérisant. Évaluer les biomasses présentes n'est pas suffisant pour estimer la quantité de nourriture disponible pour l'huître perlière. Il a fallu déterminer les tailles des particules qu'elles pouvaient retenir et mesurer les productions (accroissement de la biomasse par jour) des différents compartiments du plancton. La biomasse ne reflète en effet que l'équilibre entre la production et la consommation par d'autres compartiments du plancton et par les filtreurs benthiques ou en culture comme les pintadines (huîtres perlières). Ce sont donc 20 ans de recherches sur ces thématiques (1982-1996 puis 2008-2010) que nous présentons. Ces travaux ont été financés au départ par l'Orstom, puis par des budgets territoriaux, nationaux et européens. À la fin des programmes, des restitutions ont été faites auprès des scientifiques, des politiques et des perliculteurs.



*Installation d'un courantomètre dans la passe de Takaroa (atoll des Tuamotu). © J. Orepuller*



## Les atolls

Les atolls sont des anneaux coralliens présents dans la zone intertropicale : il y en a 85 en Polynésie française (425 dans le monde). Ils sont issus de l'activité volcanique. En quelques millions d'années, les socles volcaniques se sont éloignés du point chaud qui les a vus naître, et se sont enfoncés avec leur plaque tectonique. Aux Tuamotu, la roche volcanique de l'ancien volcan se trouve à plusieurs centaines de mètres sous le niveau de la mer, surplombée par un chapeau calcaire produit par la construction récifale. Au cours de millions d'années, le récif annulaire a été construit par des coraux, mais aussi d'autres organismes comme les algues et divers organismes autotrophes calcifiants. Les atolls peuvent posséder un lagon de plusieurs dizaines de mètres de profondeur communiquant avec l'océan par des passages de faible profondeur (appelés « hoa » en Polynésie) et par des passes plus profondes. Actuellement, en Polynésie, on trouve des lagons complètement fermés et isolés de l'océan comme Tairao, d'autres très ouverts comme Reka Reka et

d'autres atolls soulevés sans lagons (Makatea).

L'aquaculture de l'huître perlière est apparue dans les années 1960 dans l'archipel des Tuamotu. De nos jours, malgré une crise importante qui touche l'activité, elle représente la principale exportation de la Polynésie française.

## Les programmes de recherche menés par l'Orstom-IRD

L'Orstom s'est intéressé activement aux atolls essentiellement depuis le début des années 1980 dans le cadre de plusieurs programmes.

Les programmes Atoll de 1982 à 1988 et Cyel (Cycle de l'énergie et de la matière dans les lagons d'atolls) de 1990 à 1995 se sont déroulés sur l'atoll de Tikehau. Leurs objectifs étaient :

- 1) estimer les stocks naturels de nacres pintadines et leur croissance ;
  - 2) étudier le fonctionnement des lagons.
- Le laboratoire a été fermé en 1995 à la fin des programmes Cyel et Endo-upwelling.

Photo aérienne de la couronne d'Apataki (atoll des Tuamotu).

© J. Orepuller



Mesure de la salinité de prélèvement d'eau par réfractomètre. © J. Orempuller

L'équipe scientifique du programme Cyel a également participé de 1992 à 1994 à l'étude de l'environnement du lagon de Takapoto dans le cadre du Programme général de recherche sur la nacre (PGRN). Mis en place par l'Établissement pour la valorisation des activités aquacoles et maritimes (EVAAM) suite aux graves problèmes de maladies qui sont survenus dans certains lagons entre 1984 et 1989,

ce programme a été financé par le Territoire, l'État et le Fonds européen de développement (FED).

Le programme Endo-upwelling (1988 – 1995) avait pour objectif de valider l'hypothèse émise en 1986 par Francis Rougerie et Bruno Wauthy pour expliquer le paradoxe entre la pauvreté des eaux baignant les atolls et l'exubérance de la vie de la barrière récifale et du lagon

(quand il y en a un). Cette hypothèse, appelée Endo-upwelling géothermique, propose que les sels nutritifs nécessaires à la production primaire des atolls proviennent de remontées d'eau riches en nitrate (N) et phosphate (P) au travers du socle corallien poreux grâce au flux géothermique rémanent. Ce programme a été financé par l'Orstom et le programme national sur les récifs coralliens (PNRCCO).

Le programme TypAtoll (Typologie des atolls) s'est déroulé en 1996 et 1997 sur 12 Atolls des Tuamotu. L'objectif était de répondre à la question : « En quoi l'environnement des lagons influence-t-il leur état et leur fonctionnement ? ». L'approche utilisée était celle de l'écologie comparée.

Le programme européen « Professionnalisation et pérennisation de la perliculture », 2008-2010, a été financé par le Fonds européen pour le développement. L'IRD a dirigé la partie recherche « Étude de l'hydroclimat et des sources de nourriture de l'huître perlière *Pinctada margaritifera* ». Les recherches ont concerné les atolls de Ahe et Takaraoa avec l'appui et la coordination du Service de la perliculture de Polynésie française et la participation de diverses universités métropolitaines.

## L'atoll, une oasis dans un désert océanique

À partir des années 1980, les chercheurs de l'Orstom se sont activement penchés sur le paradoxe de la forte productivité d'un atoll au milieu d'un désert océanique. En effet, il semblait difficilement explicable que les biomasses animales et végétales observées à l'extérieur de l'atoll et dans le lagon puissent exister dans des eaux ne contenant que très peu d'azote et de phosphore minéral. Ces 2 éléments, souvent limitants, sont indispensables à la production de matière organique. Quatre hypothèses ont été proposées pour découvrir les sources de nutriments

permettant cette apparente fertilité :

1) des remontées d'eaux profondes riches en sels nutritifs à l'intérieur du socle corallien (Rougerie & Wauthy, 1986 ; Rougerie *et al.*, 1992 et 1995) ;

2) le flux horizontal d'eaux océaniques pauvre en nutriments mais constant et utilisable par l'écosystème (Charpy, 2001) ;

3) des remontées d'eaux riches en nutriments le long des flancs de l'atoll (Charpy-Roubaud *et al.*, 1990) ;

4) la présence d'organismes capables d'utiliser l'azote moléculaire dissous (N<sub>2</sub>) (Charpy-Roubaud *et al.*, 2001).

Après plusieurs années de recherche, il apparaît que les apports en azote et phosphore nécessaires à la vie des atolls peuvent être faibles car il existe une intense reminéralisation à l'intérieur de la trame récifale et dans les sédiments du lagon. Le récif peut utiliser les nutriments à faible concentration grâce à sa surface fractale importante (Basillais, 1997, 1998). Enfin, la fixation d'azote moléculaire est un processus important aussi bien sur les substrats meubles que sur les substrats durs et contribue à enrichir l'écosystème en cet élément. Les remontées d'eaux riches en nutriments, par le processus d'endo-upwelling, existent mais seraient lentes. (Leclerc *et al.*, 1999).

## Le plancton des lagons

Le phytoplancton (du grec phyton ou « plante ») est le plancton végétal. Plus

précisément, il s'agit de l'ensemble des espèces de plancton autotrophes.

Quelques exemples de phytoplancton : Diatomées, Dinoflagellés, Coccolithophoridés, Cyanobactéries. Il n'est présent que dans les couches superficielles de la mer, principalement dans la zone euphotique, où il accomplit sa photosynthèse : c'est-à-dire qu'il absorbe des sels minéraux et du carbone sous forme de CO<sub>2</sub>, pour rejeter de l'oxygène grâce à l'énergie de la lumière. Le phytoplancton ne représente que 1 % de la biomasse d'organismes photosynthétiques sur la planète mais assure 45 % de la production primaire (transformation du carbone minéral CO<sub>2</sub> en carbone organique).

On peut le caractériser par sa taille :



diatomée



Euglénophycées



Synechococcus

- Microphytoplancton : 20-200 µm (filtre en toile)
- Nanophytoplancton : 2-20 µm (filtre à café)
- Picophytoplancton : 0,2-2 µm (essentiellement des bactéries photosynthétiques comme les cyanobactéries)



Ci-contre : Prélèvement d'échantillons de cyanobactéries en plongée.

© J. Orempuller

La biomasse du phytoplancton est estimée à partir de la concentration en chlorophylle a. En comparant les 12 lagons prospectés lors du programme TypAtoll, nous avons observé que la biomasse globale du phytoplancton était inversement corrélée au degré d'ouverture des lagons. Cette relation est probablement due à une simple dilution des eaux lagunaires des atolls ouverts par les eaux océaniques très pauvres en chlorophylle, mais aussi à un changement des communautés phytoplanctoniques.

En réalisant des filtrations avec des filtres de différentes tailles de maille, nous avons observé que le phytoplancton des lagons est de très petite taille puisque 80 % présentent une taille inférieure à 2  $\mu\text{m}$  dont 60 % à 1  $\mu\text{m}$ . La grande majorité du phytoplancton des lagons est donc constitué de picophytoplancton.

Les cyanobactéries représentent l'essentiel de la biomasse du picoplancton <1  $\mu\text{m}$

pouvant atteindre 600 000 cellules par ml d'eau du lagon. Dans cette classe de taille, les *Prochlorococcus* dominent les eaux océaniques et les *Synechococcus* les eaux lagunaires. Les picoeucaryotes sont présents dans tous les lagons mais ne dominent la biomasse que dans quelques atolls.

### Les bactéries hétérotrophes

Les résultats les plus nombreux concernent le lagon de Tikehau (1991-1994). On trouvait en moyenne 2,4 millions de bactéries par ml d'eau. Cette abondance est la plus élevée comparée aux 10 autres atolls étudiés lors du programme TypAtoll.

La comparaison des lagons étudiés montre que biomasse et production bactérienne sont liées à l'abondance du phytoplancton.

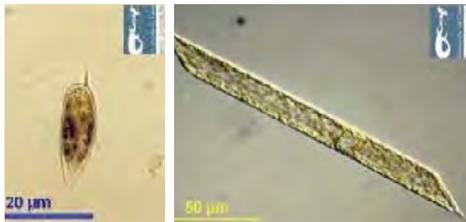


Structure de mesure des échanges du substrat.

© J. Orempuller

## Les algues microscopiques

Au total, 68 espèces ou taxa de nanomicrophytoplancton ont pu être identifiées dans les lagons. Elles se répartissent dans plusieurs groupes tels que les chlorophycées (microalgues vertes), les coccolithophores (microalgues possédant une couche de plaques de calcite) et les dinoflagellés.



De gauche à droite, de haut en bas :  
*Amphidinium longum*, *Oxytoxum* sp.,  
*Prorocentrum gracile*, *Rhizosolenia imbricata*.  
© Benoit Véron Université de Caen Basse Normandie

## Le zooplancton

Le zooplancton (du grec zoo ou « animal ») est le plancton animal. Il se nourrit de matière vivante préexistante, certaines espèces étant herbivores et d'autres carnivores. Quelques exemples de zooplancton sont cités ci-après : bactéries hétérotrophes, protozoaires comme les nanoflagellés hétérotrophes (dont l'énergie provient de la matière organique d'autres organismes) et les ciliés, les larves de bivalves, de crustacés, copépodes, méduses...

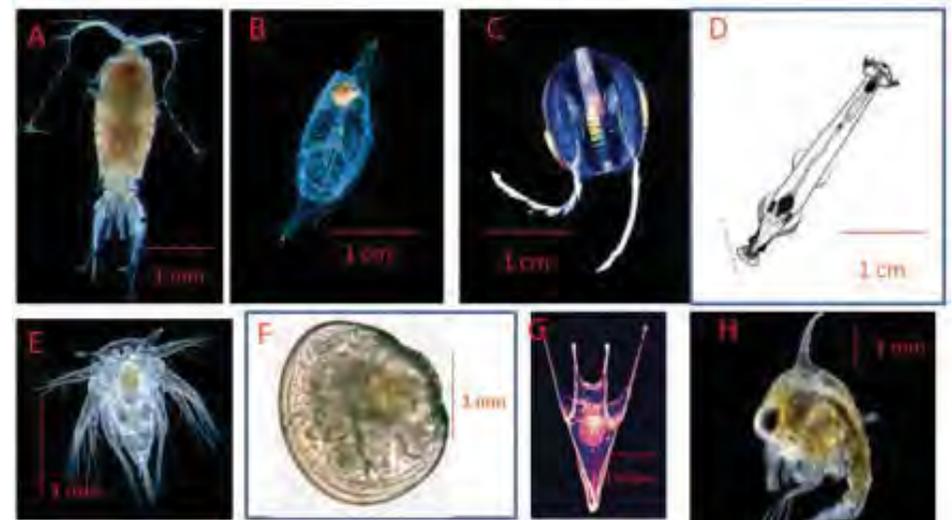
On peut le caractériser par sa taille :

- Mésozooplancton (copépodes, larves d'huîtres, larves de crustacés...)
- Microzooplancton : 20-200  $\mu\text{m}$  (ciliés)
- Nanozooplancton : 2-20  $\mu\text{m}$  (nanoflagellés hétérotrophes)



À gauche : Copépode (*Rhincalanus* sp.)  
En haut : Cilié : *Strombidium* spp.  
En bas : Nanoflagellés hétérotrophes  
et bactéries colorés au DAPI

Le zooplancton est constitué d'êtres unicellulaires (protozoaires) et d'animaux pluricellulaires (métazoaires) qui constituent le métazooplancton. Dans les lagons d'atolls, les organismes phares du métazooplancton sont des petits crustacés, les copépodes, mais de nombreux autres groupes zoologiques sont également présents : mollusques (ex. : limacines), cnidaires (ex. : méduses). On trouve également une multitude de larves d'organismes supérieurs (poissons, mollusques, crabes, crevettes). Ces organismes particuliers ne passent donc qu'une partie de son cycle vital (la phase larvaire) au sein du plancton.



Quelques exemples d'organismes du métazooplancton. En haut holoplancton : (A) copépodes (*Rhincalanus* sp.), (B) salpe (*Salpa fusiformis*), (C) *Pleurobrachia pilaeus* (groseille de mer), (D) Chaetognathes (*Sagitta* sp.). En bas méroplancton (larves du plancton) : (E) nauplius de balane, (F) larve de bivalve, (G) larve pluteus d'oursin, (H) larve zoé de crabe

## La nourriture de l'huître perlière

Des travaux réalisés dans le cadre du PGRN ont montré que les huîtres perlières pouvaient se nourrir du plancton qui a une taille supérieure à 0,002 mm (soit 2  $\mu\text{m}$ ) et légèrement supérieure à 0,2 mm (soit 200  $\mu\text{m}$ ).

L'huître perlière (adulte, naissain, larves) a un régime alimentaire varié constitué à la fois de zooplancton et de phytoplancton. La très forte concentration en nano-flagellés dans l'eau des lagons fait qu'ils représentent une part importante de l'énergie absorbée par l'huître perlière.

Cependant, les dinoflagellés et les diatomées peuvent présenter occasionnellement des concentrations élevées, constituant alors un apport alimentaire important pour l'huître perlière.

Une demande énergétique de 12 000 huîtres par ha (densité moyenne des huîtres en culture) peut ainsi être satisfaite par la productivité du plancton disponible.

Prospection en plongée de massif de Porites pour forages.

© J. Orempuller

Ci-dessous : pose d'une sonde de température sur la pente externe de l'atoll de Ahe.

© J. Orempuller



# Lexique

## B

### *Biomasses*

La biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale.

## G

### *Diatomées*

Algues brunes vivant en eaux douces comme en eaux salées et présentes dans toutes les mers du monde. Elles peuvent être libres ou fixées sur d'autres algues, à des plantes submergées ou des rochers. Les diatomées, qui mesurent entre 0,02 et 0,3 mm, sont les organismes les plus représentés du plancton.

### *Dinoflagellés*

Micro-organismes aquatiques marins. Ils sont très diversifiés, en particulier par leurs comportements alimentaires. Certains sont « benthiques » et vivent en épiphytes sur des macro-algues ou encore dans les interstices des substrats sableux (tout en pouvant migrer verticalement pour se reproduire).

## E

### *Endo-upwelling*

Voir article de Francis Rougerie, 92

## G

### *Géothermique*

« Chaleur de la terre » : se présente sous forme de réservoirs de vapeur ou d'eaux chaudes ou encore de roches chaudes.

## H

### *Hétérotrophes*

qualifie un organisme qui assure sa subsistance en assimilant des substances organiques et incapable de produire ces substances organiques à partir de matière minérale. Sa source de carbone est la matière organique.

### *Hoa*

Sur les couronnes récifales ou les barrières récifales à motu, cette dépression entaille la partie interne du platier et peut assurer des échanges entre l'océan et le lagon. Il existe cependant des hoa non fonctionnels. Les hoa alternent avec les motu.

## M

### *Motu*

Petit îlot individualisé constitué de matériel détritique de dimensions variables pouvant inclure des blocs et situé sur la couronne récifale d'un atoll ou sur une barrière récifale d'île haute. Les motu sont généralement situés en chapelets séparés par des hoa.

## N

### *Nitrates*

Sels de l'acide nitrique.

## P

### *PGRN*

Programme général de recherche sur la nacre.

### *Phosphate*

Sel d'acide phosphorique.

### *Picophytoplancton*

fraction du phytoplancton dont la taille est comprise entre 0,2 et 2 µm (picoplancton). Il est particulièrement important dans les zones centrales océaniques dites oligotrophes (très pauvres en nutriments).

### *Pinctada margaritifera*

Espèce d'huître perlière marine représentée en Polynésie.

### *Prochlorococcus*

Genre de cyanobactérie marine photosynthétique. Sa taille est d'environ 0,6 µm et appartient au bactérioplancton. On la trouve sur l'ensemble des océans, zone exposée à une lumière suffisante pour que la photosynthèse se produise pouvant aller jusqu'à 200m.

## S

### *Sels nutritifs*

Les sels nutritifs sont des constituants minéraux dissous dans l'eau de mer et impliqués dans le métabolisme des êtres vivants.

### *Substrats*

Fond marin, base de fixation d'organismes.

### *Surface fractale*

Une fractale désigne des objets dont la structure est invariante par changement d'échelle. La surface fractale est de forme irrégulière ou morcelée qui se crée en suivant des règles déterministes ou stochastiques impliquant une homothétie interne.

### *Synechococcus*

genre de cyanobactérie unicellulaire nanoplanctonique (taille de l'ordre du micron). Ces bactéries vivent essentiellement en mer, mais certaines espèces vivent en eau douce. Ce genre regroupe les espèces presque les plus abondantes du milieu marin. Bien que longtemps inconnues et encore méconnues en raison de leur taille minuscule, elles dominent quantitativement le phytoplancton (avec leur proches parentes du genre Prochlorococcus).

# Bibliographie

## Sites en ligne

Les atolls de Polynésie française  
<http://www.com.univ-mrs.fr/IRD/atoll-pol/intro.html>

## Ouvrages et revues

Basillais, E. (1997) Coral surfaces and fractal dimensions : a new method. *C R Acad Sc Paris, Life Sci* 320 : 653-657.

Basillais, E. (1998) Étude géométrique fractale de trois espèces coralliennes (*Pocillopora eydouxi*, *Porites lobata*, *Acropora cerealis*). Transfert d'échelles, modèle fractal des flux naturels d'espèces chimiques dissoutes vers les récifs coralliens. Thèse de doctorat de l'Université de la Méditerranée (Aix-Marseille II). Pp 188

Charpy-Roubaud, C. ; Charpy, L. ; Cremoux, J.-L. (1990) Nutrient budget of the lagoonal waters in an open central South Pacific atoll (Tikehau, Tuamotu, French Polynesia). *Marine Biology*, 107 : 67-73.

Charpy, L. (2001) Phosphorus supply for atoll biological productivity. *Coral reefs* 20 : 357-360

Charpy-Roubaud, C. ; Charpy, L. ; Larkum AWD (2001) Atmospheric dinitrogen fixation by benthic communities of Tikehau Lagoon (Tuamotu Archipelago, French Polynesia) and its contribution to benthic primary production. *Marine Biology* 139 : 991-997.

Leclerc, A-M (1998) Modélisation des écoulements dans le milieu interstitiel corallien et quantification des échanges de matière avec l'environnement océanique. Thèse Doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, pp. 199.

Rougerie, F. ; Fagerstrom, J.-A. ; Andrie, C. (1992) Geothermal Endouppwelling. A Solution to the Reef Nutrient Paradox. *Cont. Shelf. Res.* 12 : 785-798.

Rougerie, F. ; Wauthy, B. (1986) Le concept d'endo-upwelling dans le fonctionnement des atolls-oasis. *Oceanol. Acta* 9 : 133-148.



# 50 ans de recherche

*pour le développement  
en Polynésie française*

Sous la direction de Philippe Lacombe,  
Fabrice Charleux, Corinne Ollier, Joël Orempuller



# 50 ans de recherche pour le développement en Polynésie française

*Ouvrage réalisé au centre IRD de Polynésie française (Arue)*

avec le soutien du ministère de la Recherche de la Polynésie française,  
et du ministère de la Recherche (France)

IRD Éditions  
Institut de recherche  
pour le développement

Marseille, 2013

*Photo de couverture :*

Sylvain Petek – Baie des vierges, Marquises

Coordination

Philippe Lacombe

Préparation éditoriale et coordination

Fabrice Charleux, Corinne Ollier, Joël Orempuller

Comité de lecture

Jean-Yves Meyer, Jean-Claude Angué

Mise en page, maquette de couverture, maquette intérieure et illustrations

Fabrice Charleux

Traductions en tahitien

M. Paia, J. Vernaudeau, E. Teikitumenava

La loi du 1<sup>er</sup> juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2013

ISBN : 978-2-7099-1753-7