

Roténone: un outil essentiel mais décrié pour l'évaluation de la diversité des poissons marins**D. ROSS ROBERTSON Y WILLIAM F. SMITH-VANIZ**

Les récifs coralliens, l'un des écosystèmes biologiquement les plus divers et importants sur la Terre, subissent un déclin écologique sans précédent et chaque fois plus important alors que les faunes de poissons de ces récifs et autres habitats côtiers sont toujours mal connues dans le détail. La roténone, une substance naturelle traditionnellement utilisée pour la pêche de subsistance, est un outil particulièrement efficace pour la collecte d'échantillons de poissons de récifs et d'autres zones côtières pour la recherche marine. Malheureusement, ce type d'échantillonnage est perçu comme très destructif, et l'augmentation des interdictions d'usage de la roténone dans de nombreux pays va bientôt handicaper la recherche dans le domaine de la biodiversité des poissons coralliens à l'échelon mondial. Dans cet article, nous dissipons des idées fausses communes sur les effets environnementaux que peut avoir l'échantillonnage à petite échelle avec la roténone dans le cadre de la recherche marine.

Mots-clés: poissons de récifs coralliens, recherche sur la biodiversité, échantillonnage avec la roténone.

D. Ross Robertson (e-mail: drr@stri.org) travaille au Smithsonian Tropical Research Institute à Balboa, République de Panamá. William F. Smith-Vaniz (e-mail: smithvaniz@gmail.com) est associé au Florida Museum of Natural History, University of Florida à Gainesville. Copyright 2008 American Institute of Biological Science.

La roténone, une substance chimique naturelle produite par des plantes légumineuses originaires du sud-est asiatique et de l'Amérique du Sud, a été traditionnellement utilisée par les pêcheurs indigènes dans les eaux douces et marines de ces régions (Béarez 1998, Lockett 1998, Ling 2003). La roténone tue les poissons et les autres organismes par blocage de l'absorption de l'oxygène au niveau cellulaire (Singer et Ramsay 1994). Les gestionnaires des pêches en eau douce l'utilisent de façon routinière en quantités pouvant atteindre des centaines de tonnes, soit afin d'éliminer les espèces exotiques dans le cadre de la conservation des poissons indigènes, soit pour éliminer les poissons indésirables avant d'ensemencer un plan d'eau avec des poissons destinés à la pêche sportive (McClay 2000, Ling 2003).

La roténone est le principe actif des insecticides organiques communément utilisés pour les animaux de compagnie et dans les jardins, ainsi que dans l'agriculture et l'élevage. L'information sur l'utilisation de la roténone comme pesticide, extraite des rapports du gouvernement et d'une large gamme d'études publiées dans des revues scientifiques, et sur les implications de son usage sur la santé humaine et l'environnement, est disponible sur les sites suivants: Organisation Mondiale de la Santé (OMS; www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard_rev_3.pdf), Réseau de Toxicologie EXTTOXNET (The Extension Toxicology Network; <http://exttoxnet.orst.edu/pips/rotenone.htm>) et Société Américaine des Pêches (American Fisheries Society; www.fisheries.org/units/rotenone/index.htm); des rapports importants de l'Agence pour la Protection de l'Environnement des États-Unis sont aussi disponibles sur le site de l'AFS; voir aussi les synthèses de Lockett (1998) et Ling (2003). En résumé, ces sources considèrent la roténone comme un pesticide relativement sûr qui peut être utilisé dans l'agriculture comme dans l'élevage. Il n'y a pas d'indice clair d'un éventuel effet cancérigène ou tératogène chez le rat. L'OMS classe la roténone comme modérément dangereuse, avec la pyréthrine, un autre insecticide organique d'usage domestique commun: elle est classée au niveau 3 dans une échelle de 1 (le plus toxique) à 4. Lorsqu'elle est avalée en

grand quantité, la roténone a une faible toxicité pour les oiseaux, mais elle est modérément toxique pour les rats. Le principal danger, pour la santé humaine, d'un usage de la roténone dans la gestion des pêches (et la recherche), vient de sa possible inhalation sous forme de poudre ou d'aérosol, ce qui peut être évité en utilisant un masque. Les poissons tués par la roténone ne gardent en eux qu'une petite quantité de substance, principalement dans les parties du corps non comestibles. Il n'a pas été rapporté d'effets sur l'homme de la consommation de poissons collectés après usage de roténone et les deux auteurs ont consommé du poisson pêché de cette manière sans ressentir aucun effet notable et immédiat. En outre, en raison du caractère thermolabile de la roténone, la cuisson réduit le risque potentiel de toxicité chez les personnes consommant des poissons ayant été exposés à cette substance. Il est peu probable qu'on mène des études à grande échelle et rigoureusement élaborées sur les effets à long terme chez l'homme d'une consommation de poissons exposés à la roténone, dans la mesure où elles sont coûteuses et généralement restreintes aux pesticides utilisés dans les pays développés, où l'usage de la roténone est très réglementé et son utilisation pour la pêche prohibée. L'AFS soutient qu'une étude expérimentale qui avait mis en évidence des lésions cérébrales et des symptômes du type maladie de Parkinson chez des rats suite à des injections intraveineuses régulières de roténone (Betarbet et al. 2000) n'a qu'un intérêt douteux pour ce qui concerne l'usage de la roténone dans la gestion des pêches. L'évaluation de cette étude de la part de l'AFS (voir www.fisheries.org/units/rotenone/index.htm; voir aussi Ling [2003]) souligne que : (a) la roténone n'est pas absorbée par le système digestif des mammifères et qu'elle est rapidement dégradée par le foie; (b) dans l'étude de Betarbet et ses collègues (2000), l'atteinte du cerveau des rats par la roténone a nécessité le recours à des injections intraveineuses; (c) aucun symptôme ou changement anatomique de type maladie de Parkinson n'a jamais été décelé auparavant dans des études sur des rats ayant ingéré de la roténone durant de longues périodes; et (d) il n'y a aucune évidence de lien entre l'utilisation pendant plusieurs décennies de la roténone pour la pêche et la maladie de Parkinson chez l'homme.

Les restrictions d'usage de la roténone dans les recherches marines sont en considérable augmentation à l'échelon mondial. Beaucoup de pays situés dans les centres globaux de diversité pour les poissons côtiers des zones tropicales et subtropicales, ont interdit ou restreint énergiquement aux chercheurs l'usage de la roténone pour la collecte d'échantillons de poissons côtiers ou récifaux. Une liste partielle inclue les États-Unis (partie continentale, Iles Vierges et Hawaï), où la roténone est pourtant utilisée légalement dans la gestion des pêches à grande échelle et dans la restauration des populations de poissons d'eau douce natifs; le Mexique, le Belize, le Honduras, la Colombie, l'Équateur, le Venezuela, les Iles Caïmans, le Brésil, où la roténone a été historiquement utilisée par les pêcheurs indigènes; la Polynésie française, le Japon, Palau, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, l'Inde et l'Afrique du Sud. Nous croyons, comme nous le montrons ici, que des telles interdictions ou restrictions anormales résultent d'un manque d'information de la part des gestionnaires sur le réel besoin d'échantillonnages à petite échelle avec de la roténone et d'un manque de conscience de la nature provisoire et insignifiante des effets secondaires de tels échantillonnages sur l'environnement.

L'échantillonnage avec la roténone fournit des données essentielles sur la biodiversité marine

La taxonomie est fondamentale pour comprendre la biodiversité et les processus évolutifs, et joue un rôle essentiel en biologie de la conservation (Dubois 2003) ; des faits que les gestionnaires n'apprécient souvent pas, mais qu'ils doivent pourtant prendre en considération. Toute recherche biologique requiert d'une identification précise des espèces, laquelle dépend des systématiseurs travaillant dans les muséums et ayant à disposition suffisamment d'espèces récoltées dans de vastes aires géographiques et sur de longues périodes de temps (Cotterill 1995). Des spécimens de référence sont essentiels pour la recherche sur la biodiversité des poissons côtiers, leur taxonomie (morphologique et génétique) et leurs réponses écologique, évolutive, biogéographique et populationnelle au changement climatique. L'échantillonnage avec la roténone a été d'une importance capitale pour le développement et l'édition de guides régionaux modernes pour l'identification des poissons côtiers tropicaux, lesquels incluent nécessairement des poissons cryptiques. Ces guides, incluant celui de Randall (2007) ainsi que ses neuf guides régionaux précédents sur l'identification des poissons de récifs de l'Indo-Pacifique et de l'Atlantique (voir aussi Carpenter [2002]) et trois autres guides régionaux sur les poissons tropicaux de l'Indo-Pacifique, édités par l'Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation (FAO), montrent l'importance d'un tel échantillonnage pour comprendre la biodiversité des poissons côtiers tropicaux à l'échelle planétaire. Néanmoins, de larges zones tropicales n'ont toujours pas été inventoriées, et l'on est encore loin de connaître de façon claire le nombre d'espèces de poissons côtiers tropicaux existants, même dans les zones qui ont été relativement bien échantillonnées (voir Zapata et Robertson [2006]). De plus, l'abondante information fournie par l'échantillonnage avec la roténone sur l'usage de l'habitat, l'écologie et la distribution géographique des poissons côtiers

est vitale pour leur conservation et la gestion de leurs populations - les organismes les plus vulnérables à l'extinction locale ou globale en raison de conditions adverses sont ceux ayant de faibles répartitions géographiques, des habitats spéciaux ou autres nécessités écologiques. D'après Gerald R. Allen du Western Australian Museum de Perth (communication personnelle, 13 juin 2007), l'échantillonnage avec la roténone s'est montré essentiel pour ses récents inventaires de biodiversité dans le cadre d'études de conservation dans quelques endroits clés comme les Philippines, l'Indonésie, la Papouasie-Nouvelle-Guinée et les Iles Salomon. Combiné à des inventaires visuels, un tel échantillonnage a représenté un outil puissant pour obtenir une "photo instantanée" complète de la faune en chaque lieu étudié. Allen a utilisé l'échantillonnage avec la roténone de façon régulière au cours de ces 10 dernières années comme partie du protocole des "évaluations biologiques rapides" dans ces zones.

Ces évaluations sont un élément clé dans les stratégies de conservation employées par des organisations telles que Conservation International (CI), The Nature Conservancy (TNC) et le World Wildlife Fund (WWF). Un tel échantillonnage a joué un rôle crucial lors des inventaires réalisés par CI et TNC dans les îles Raja Ampat, au large de la côte occidentale de Nouvelle-Guinée. Dans ces îles, l'association d'inventaires visuels et d'échantillonnages à la roténone sur de petites stations a permis à l'équipe de Allen de dresser une liste impressionnante de plus de 1100 espèces de poissons pour cette zone, évidence indéniable que cette zone est parmi les plus riches au monde en poissons de récifs tropicaux. Comme résultat direct de cette investigation, un réseau de six aires marines protégées a été mis en place dans ces îles - un résultat qui n'aurait pas été possible sans l'aide des échantillonnages avec la roténone.

L'usage de la roténone dans la recherche marine

Historiquement, les chercheurs ont utilisé trois formulations différentes de la roténone pour collecter des poissons : (1) des préparations aqueuses diluées, composées de racine pulvérisée (concentration de 5 à 8 pour cent) mélangée à de l'eau pour produire une pâte, avec souvent un ajout de savons biodégradables pour augmenter l'émulsion de la poudre; (2) des préparations commerciales liquides à base de pétrole, composées de résine de roténone (jusqu'à une concentration de 50 pour cent) mélangée à des solvants de pétrole et des émulsifiants permettant la dilution de la préparation liquide dans l'eau; et (3) la roténone cristalline à 97 pour cent dissoute dans l'alcool ou l'acétone (Gilmore et al. 1981, McClay 2000). Les préparations commerciales à base de pétrole, lesquelles s'utilisent communément pour la pêche en eau douce (McClay 2000), sont coûteuses, peu fiables après stockage prolongé et, en raison de leur caractère inflammable, dangereuses à transporter. La roténone cristalline est extrêmement chère. Pour ces raisons, les biologistes marins utilisent en général des préparations aqueuses. Lors d'échantillonnages de poissons côtiers, les collecteurs dispersent de façon manuelle sur le fond une petite quantité de pâte aqueuse de roténone (environ 1 kilogramme de poudre mélangée à plusieurs litres d'eau). En milieu récifal ouvert,

une telle quantité permet d'échantillonner les poissons sur une surface d'environ 10 mètres de diamètre pour un peu moins d'une heure, après quoi la roténone est trop dispersée pour être effective sur les poissons entrant dans la zone traitée. Cet échantillonnage est typiquement limité aux zones à faible renouvellement d'eau, car beaucoup d'espèces de poissons sont résistantes à la roténone (quelques unes ont besoin d'environ 20 minutes d'exposition pour pouvoir être capturables) et la roténone se disperse trop rapidement lorsque les courants sont modérés à forts.

L'échantillonnage avec la roténone n'est qu'une technique parmi une panoplie de méthodes de recherche et non une technique alternative. Les inventaires visuels fournissent des informations précises sur les espèces visibles dans les eaux claires des récifs coralliens, mais pas sur des espèces vivant dans les eaux troubles, comme en estuaire ou en mangrove, ni sur des poissons cryptiques qui vivent cachés dans des crevasses ou des terriers, que ce soit dans les récifs, les mangroves, le sable ou la vase. En revanche, les inventaires faits avec la roténone offrent d'importantes informations sur les poissons cryptiques ou vivant dans les milieux turbides; ils améliorent aussi grandement la collecte des poissons de récifs profonds. Richard Pyle, du Bishop Museum à Hawaii (communication personnelle, 15 juin 2007), est l'un des plongeurs, du petit groupe de plongeurs scientifiques à l'échelle mondiale, qui utilise un "recycleur d'air" pour la récolte d'échantillons de poissons dans les récifs, à des profondeurs allant entre 45 et 150 mètres. Selon son expérience, les échantillonnages faits avec la roténone à ces profondeurs multiplie par trois le taux des découvertes de nouvelles espèces des poissons cryptiques des récifs profonds (voir par exemple Smith-Vaniz [2005], pour la description d'une de ces espèces et pour des informations sur la collecte à l'aide de "recycleurs d'air"). John E. McCosker, de la California Academy of Sciences à San Francisco (communication personnelle, 12 juin 2007), affirme que les inventaires avec la roténone sont essentiels pour des échantillonnages efficaces des environnements très profonds (> 150 mètres) à partir de sous-marins de recherche, lesquels utilisent un bras flexible pour injecter de la roténone depuis un réservoir à bord, jusque dans les crevasses ou sur le fond.

Les poissons cryptiques côtiers appartiennent à une large gamme de familles de poissons et représentent presque la moitié des espèces de l'ichtyofaune néotropicale côtière (voir Carpenter [2002], Robertson et Allen [2006]) ; leur importance est similaire dans l'ensemble des faunes de poissons côtiers de la ceinture tropicale. L'échantillonnage avec la roténone révèle des espèces cryptiques qui usuellement ne sont pas détectées dans les inventaires visuels d'une aire donnée, en doublant souvent le nombre d'espèces connues préalablement pour cette zone (Harmelin-Vivien et al. 1985, Dibble 1991, Lockett 1998, Ackerman et Bellwood 2000, Collette et al. 2003, Dennis et al. 2005, Smith-Vaniz et al. 2006), même si Willis (2001) a trouvé six fois plus d'espèces en utilisant la roténone. Non seulement les inventaires visuels n'arrivent pas à documenter la présence de beaucoup des poissons cryptiques de récifs, mais de plus ils sous-estiment largement les densités

des populations de tels poissons. Par exemple, Ackerman et Bellwood (2000) ont effectué le recensement visuel de petites zones avant de les échantillonner avec la roténone ; ils ont récolté de 50 à 75 pour cent plus d'individus en utilisant la roténone. Willis (2001) et Dibble (1991) ont récolté de 4 à 16 fois plus, respectivement (voir aussi Brock [1982] et Kulbicki [1990]).

La collecte avec des anesthésiques, comme la quinaldine ou l'huile de clou de girofle, est efficace quand on projette de petites quantités de produit, à l'aide d'une pissette, sur les poissons qu'on a pu approcher suffisamment. Néanmoins, en général, les anesthésiques sont beaucoup moins efficaces que la roténone pour capturer des poissons cachés, lesquels sortent de leurs cachettes (devenant ainsi accessibles) lorsqu'ils sont exposés à la roténone alors que ce n'est souvent pas le cas lorsqu'ils sont anesthésiés. En outre, la roténone produit une désorientation plus durable que les anesthésiques chez les poissons, ce qui permet une capture plus aisée (Ackerman et Bellwood 2002). De plus, dans la plupart des cas, l'usage des anesthésiques requiert l'usage de solvants comme l'alcool ou l'acétone. Bien que les anesthésiques puissent être utilisés pour échantillonner de petites zones fermées telles que des mares intertidales rocheuses (Griffiths 2000), l'usage d'anesthésiques en grandes quantités, nécessaires à un tel échantillonnage, implique la libération dans le milieu de quantités de solvants qui affectent probablement bien d'autres organismes que les poissons.

Les autres techniques de collecte ont toutes des limitations considérables pour l'échantillonnage des poissons côtiers: les explosifs sont généralement destructifs; les pièges et les filets sont très sélectifs et peuvent détruire certains habitats; et la pêche électrique ne fonctionne pas dans l'eau salée. Comme la roténone, l'antimycine a été utilisée pour capturer des poissons; cependant, cet antibiotique est plus toxique que la roténone pour une large gamme d'organismes; il est substantiellement plus toxique que la roténone pour les mammifères; son action est très variable en fonction des espèces de poissons, et pas du tout efficace lorsque le pH est élevé, comme dans les mangroves et certains autres habitats marins (Marking 1992).

De notre expérience et de celles d'autres collègues qui collectent des poissons côtiers, l'échantillonnage avec la roténone est de loin la méthode la plus efficace pour capturer une large gamme de poissons cryptiques habitant les eaux troubles ou en profondeur, dans le cadre des inventaires de biodiversité.

La roténone est très sélective pour les poissons. La roténone a une faible toxicité pour les oiseaux, et les oiseaux marins ne sont pas affectés par la consommation des poissons traités avec la roténone pendant les récoltes scientifiques (John E. McCosker, communication personnelle, 15 juin 2007) ; en tout cas, les poissons conservent très peu de roténone dans leurs tissus. En dehors des poissons, la roténone touche principalement les petits crustacés planctoniques, et une station typique de pêche à la roténone ne fournit que des quantités limitées d'ophiures, de petites crevettes benthiques et de poulpes, lesquels sont aussi utiles pour la recherche (Bussing 1972, Lockett 1998, Ling 2003 ; Gerald R. Allen,

communication personnelle, 12 juin 2007; John E. Randall, Bishop Museum, Honolulu, communication personnelle, 13 juin 2007).

Les quelques expériences pertinentes réalisées sur ce sujet n'ont détecté aucun effet délétère sur les coraux exposés à la roténone diluée, telle qu'elle est utilisée par les chercheurs. Jaap et Wheaton (1975) ont trouvé que la solution non diluée (concentration maximale) de roténone liquide à base de pétrole, au lieu de se disperser correctement, a formé des gouttelettes qui se sont déposées et sont restées sur les surfaces horizontales des coraux durs. Ceci a causé une "mortalité partielle" des colonies de coraux, quelques parties étant mortes mais sans affecter l'intégralité de la colonie. Le corail peut régénérer ensuite les zones mortes du squelette. Il n'y a pas eu tels effets de la roténone en concentration maximale sur les coraux mous, lesquels, à la différence des coraux durs, croissent verticalement et ne retiennent pas les gouttelettes de solution de roténone. Ces auteurs n'ont pas remarqué d'effets de la solution diluée de roténone à base de pétrole sur les coraux durs et mous, quand la solution se disperse normalement. Comme les chercheurs qui collectent des poissons diluent la roténone avant de l'utiliser sous l'eau, et comme celle-ci se disperse rapidement dans les stations de prélèvement, les coraux ne subissent pas de contact prolongé avec la roténone concentrée pendant les opérations de collecte.

Dans d'autres études sur le terrain où l'échantillonnage s'est fait de façon classique sur de petites stations de pêche à la roténone, aucun effet nuisible sur les coraux n'a été observé. Par exemple, Bright et ses collègues (1974) n'ont pas noté d'effet après l'usage de roténone à base de pétrole sous une "bâche" en plastique dont ils avaient lesté le pourtour pour délimiter une zone du fond et ainsi réduire la dispersion de la roténone pour une heure environ, avant de l'enlever pour permettre aux chercheurs de travailler sur la zone. Smith (1973) a utilisé la roténone à base de pétrole pour échantillonner à plusieurs reprises des zones coralliennes, ce jusqu'à trois fois sur des périodes allant jusqu'à trois ans, et il n'a pas remarqué d'effet nuisible sur les coraux (C. Lavett Smith, American Museum of Natural History, New York, communication personnelle, 13 juin 2007).

À part les poissons, les seuls organismes macroscopiques tués par l'application de roténone à base de pétrole dans une grande mare intertidale d'un récif du Pacifique central, ont été des crevettes et des poulpes (mais pas les crabes; Bussing 1972). L'administration du Parc National qui a effectué une évaluation et un suivi des effets collatéraux de l'échantillonnage avec la roténone aqueuse réalisé par Smith-Vaniz et ses collaborateurs (2006) dans les Iles Vierges (USA) n'a pas relevé d'effets nuisibles sur les coraux (Z. Hillis-Starr, Buck Island Reef National Monument, St. Croix, communication personnelle, 18 juin 2007).

L'absence d'effet observé sur les coraux brièvement exposés à la roténone diluée dans une station de collecte typique est en accord avec nos propres observations tout au long des nombreuses années de récolte d'échantillons. Tant nous-mêmes que les autres chercheurs qui utilisons la roténone, soit aqueuse soit à base de pétrole (e. g. Gilmore et al. 1981), avons observé moins de mortalité des invertébrés avec les préparations aqueuses, ce qui indique que les produits à base

de pétrole utilisés dans les préparations commerciales de roténone sont toxiques tant pour les invertébrés que pour les poissons. Limiter les prélèvements scientifiques en eaux peu profondes à l'utilisation de la seule roténone aqueuse ne représenterait pas une entrave pour la recherche. La roténone à base de pétrole est en revanche plus utile pour les collectes en eaux profondes parce que les plongeurs scientifiques (seulement un petit groupe à travers le monde) qui échantillonnent ces milieux disposent de peu de temps pour faire leur travail, et que les températures, plus basses, réduisent de façon dramatique l'efficacité de la roténone aqueuse (Richard L. Pyle, communication personnelle, 15 juin 2007; John E. McCosker, communication personnelle, 12 juin 2007).

L'échantillonnage avec la roténone n'élimine pas tous les poissons ni ne détruit leurs habitats.

L'échantillonnage à la roténone sur de petites stations en mer ouverte ne tue pas tous les poissons de la zone. Les poissons doivent rester un certain laps de temps dans la zone traitée pour qu'ils deviennent capturables et les grands poissons, mobiles, qui se déplacent brièvement dans la zone traitée, ne sont pas affectés. Beaucoup de poissons mobiles évitent la roténone et abandonnent la zone traitée temporairement jusqu'à que la roténone se soit dispersée, bien que des petits mérous soient attirés sur les lieux de collecte pour chasser les poissons désorientés. Les inventaires visuels peuvent fournir des données appropriées sur les poissons de récifs sous-représentés dans les échantillonnages avec la roténone en raison de telles réactions d'évitement. En fait, la fuite des poissons mobiles et très visibles est préférable lors des échantillonnages avec la roténone qui visent principalement à évaluer la présence des espèces cryptiques. S'il y a besoin de retenir les poissons mobiles (par exemple quand on calcule l'abondance d'une communauté), on peut installer des filets de rétention autour de l'aire d'échantillonnage avant de répandre la roténone (e.g. Ackerman et Bellwood 2000). De plus, les poissons récupèrent à la suite d'une légère intoxication à la roténone (Schultz 1948, Bussing 1972, Smith 1973, Ling 2003). En fait, Galzin (1979) a utilisé avec succès la roténone comme anesthésique des poissons de récifs coralliens. À l'aide d'une pissette, il a projeté de petites quantités de solution hautement diluée sur des poissons isolés jusqu'à qu'ils soient suffisamment désorientés pour être capturés avec une épuisette d'aquarium; après quoi ils furent marqués puis libérés. Un mois après leur capture avec la roténone, il a pu à nouveau observer sur le terrain 95 pour cent des poissons marqués.

Finalement, par opposition aux méthodes mécaniques de collecte, comme le chalutage, qui peuvent détruire ou perturber de grandes zones de communautés benthiques sessiles qui constituent des habitats pour les poissons, l'échantillonnage avec la roténone réalisé par des plongeurs ne provoque pas de destruction physique des habitats marins.

La roténone se disperse et se dégrade rapidement. Les bulles produites pendant la plongée, associées aux mouvements de nage des plongeurs, éloignent rapidement l'eau et la roténone du lieu d'application. Une heure d'activité d'un couple de plongeurs qui collectent des échantillons en

milieu ouvert, en absence de courant, est suffisante pour disperser la roténone jusqu'au point où elle n'affecte plus les poissons qui entrent dans la zone préalablement traitée. Les courants d'eau accélèrent grandement ce processus de dispersion.

L'information sur la dégradation de la roténone dans les milieux aquatiques et terrestres est disponible auprès des mêmes sources qui fournissent l'information sur l'usage de la roténone comme pesticide (voir plus haut). Il est largement reconnu que la roténone est chimiquement instable et se dégrade rapidement dans l'environnement au travers de mécanismes abiotiques (photolyse et hydrolyse). La vitesse de dégradation de la roténone dans l'eau est principalement déterminée par la température, mais aussi par la turbidité et les niveaux de lumière, pH et oxygène. La dégradation est plus rapide dans les eaux chaudes, bien éclairées et bien oxygénées, conditions dans lesquelles elle peut être complète en moins d'une semaine. Bien que les études précédentes n'aient pas examiné spécifiquement la dégradation de la roténone dans les récifs coralliens, leurs résultats indiquent clairement qu'en conditions comme celles qui sont typiquement associées aux récifs coralliens (eaux chaudes, claires, bien éclairées et oxygénées), la dégradation complète de la roténone se réalise en quelques jours. Le potentiel de bio-accumulation de la roténone dans les chaînes alimentaires est très faible, la roténone ayant une demi-vie d'environ un jour chez le poisson.

Les populations de poissons côtiers sont résilientes. Les populations de poissons côtiers récupèrent rapidement suite aux désastres naturels de courte durée et aux effets bien plus localisés des échantillonnages avec la roténone. L'utilisation à grande échelle de la roténone de la part des gestionnaires des pêches peut conduire à des changements "permanents" recherchés parmi les communautés de poissons d'eaux douces des lacs et réservoirs, car les poissons non désirés ne peuvent pas repeupler de façon naturelle des masses d'eaux isolées. En revanche, les communautés locales de poissons côtiers sont fortement interconnectées par la dispersion des larves pélagiques produites par la plupart des poissons marins.

Les communautés de poissons de récifs vivant dans des aires réduites fluctuent naturellement dans leur composition spécifique et dans l'abondance de chaque espèce, principalement en raison de la variation interspécifique du rythme et du taux de recrutement des larves pélagiques sur les habitats côtiers. L'abondance absolue d'une espèce varie en fonction des fluctuations du recrutement et les abondances relatives des différents poissons (à la fois proies et prédateurs) changent du fait que tous les ans les modalités du recrutement ne sont pas les mêmes pour toutes les espèces (voir par exemple, Sale 1988) - en résumé, les communautés de poissons côtiers sont des entités naturellement dynamiques.

Les communautés d'organismes marins le long des rivages de la planète souffrent de stresses d'échelle globale, tel que le réchauffement global, et de forts stresses à long terme tel que celui engendré par l'activité humaine, intensive, continue et à grande échelle. Néanmoins, les environnements côtiers sont hautement dynamiques et ils sont constamment soumis à des perturbations naturelles (par exemple, inondations, tempêtes et

ouragans), lesquelles réduisent les populations de poissons côtiers dans de larges zones et, à la fois, détruisent ou construisent les habitats des poissons. La dispersion larvaire permet à ces populations de poissons de récupérer rapidement suite au dépeuplement naturel résultant d'un événement relativement bref et occasionnel, mais permet aussi aux communautés de poissons côtiers de se repeupler en quelques mois à la suite des effets bien plus limités d'un échantillonnage à petite échelle avec la roténone. Plusieurs études ont documenté le rétablissement des poissons côtiers après un dépeuplement résultant (a) d'événements naturels le long du Golfe de Californie (Thomson et Lehner 1976); (b) d'explosions atomiques en Polynésie française (Planes et al. 2005); (c) de l'emploi d'anesthésique dans des mares intertidales de Californie (Grossman 1982) ; et (d) d'échantillonnages avec la roténone dans le Pacifique nord-est des États-Unis (Polivka et Chotkowski 1998), dans des récifs des Caraïbes (Smith 1973, Mahon et Mahon 1994), du Golfe du Mexique (Ross et Doherty, 1994), de l'est des États-Unis (Collette 1986), d'Afrique du Sud (Beckley 1985), du Brésil (Rosa et al. 1997), d'Australie (Lardner et al. 1993), et de Nouvelle Zélande (Willis et Roberts 1996; Roberts et Stewart 2006). Dans le Golfe d'Aqaba, une fuite accidentelle majeure de produits chimiques, incluant des pesticides beaucoup plus puissants que la roténone, a provoqué l'élimination totale des poissons de récifs dans une zone des centaines de fois plus grande que celle typiquement échantillonnée dans une station de pêche à la roténone. Gundermann et Popper (1975) ont suivi les populations de poissons dans des massifs de coraux de ce secteur avant et après l'accident et ils ont constaté que la récupération s'était effectuée entre 10 et 12 mois après la fuite.

Les échantillonnages avec la roténone sont peu fréquents, espacés dans le temps et à très petite échelle. Un échantillonnage typique de biodiversité, conduit sur deux semaines par une équipe de plusieurs collecteurs, comprendra de deux à trois pêches à la roténone par jour, réparties parmi plusieurs types d'habitats et diverses localités. Par comparaison, le filet d'un petit chalutier crevettier prendra approximativement deux minutes pour draguer une zone équivalente à la surface échantillonnée en deux semaines pour l'inventaire de biodiversité, le chalut attrapant par ailleurs beaucoup d'organismes autres que des poissons et perturbant les habitats benthiques sur son passage.

Conclusions

L'échantillonnage avec la roténone à petite échelle est un des meilleurs outils disponibles pour découvrir des informations vitales sur la biodiversité de poissons côtiers tropicaux. Un tel échantillonnage combine une forte sélectivité et efficacité avec des effets minimaux et hautement transitoires sur l'environnement. Les communautés de poissons côtiers sont résilientes et ont une capacité bien éprouvée pour la récupération face à un stress temporaire de moyenne échelle, tel que celui produit par les ouragans, comme à un stress plus bref et de petite échelle, tel que celui produit par la pêche à la roténone des petites stations. Les effets de l'échantillonnage avec la roténone à petite échelle sont imperceptibles à l'échelle d'un écosystème récifal, d'un estuaire, ou d'un pays,

au regard des effets destructifs des événements naturels ou en comparaison avec les effets d'une large gamme d'activités humaines sur les poissons côtiers (surpêche, pollution, destruction des habitats).

Puisque l'usage de la roténone pour la recherche n'a pas de base sociale ou économique d'influence politique, elle constitue une cible facile et commode pour les interdictions. Cependant, pour qu'elle soient effectives, les décisions scientifiques et administratives doivent être prises sur la base de la meilleure information possible et les meilleures méthodes disponibles pour obtenir cette information sur la biodiversité marine incluent l'échantillonnage à petite échelle avec la roténone. Par conséquent, nous encourageons les gestionnaires des ressources marines à prendre en considération, de façon responsable et objective, les demandes des scientifiques marins quant à l'usage de la roténone dans les programmes de recherche qui ont clairement énoncé des objectifs scientifiques et de gestion.

Remerciements

Nous remercions les personnes suivantes pour leurs commentaires sur un premier jet de ce manuscrit: Gerald R. Allen, Ralf Britz, René Galzin, Philip C. Heemstra, Keiichi Matsuura, Richard L. Pyle, John E. Randall, Peter F. Sale, Robert R. Warner, et Richard Winterbottom. La participation de D. R. R. a été financée par le Smithsonian Tropical Research Institute. L'intérêt et la participation de W. F. S.-V. à cette étude est le fruit de ses recherches lorsqu'il travaillait pour l'U. S. Geological Survey.

Références citées:

- Ackerman JL, Bellwood DR. 2000. Reef fish assemblages: A re-evaluation using enclosed rotenone stations. *Marine Ecology Progress Series* 206: 227–237.
- . 2002. Comparative efficiency of clove oil and rotenone for sampling tropical reef fish assemblages. *Journal of Fish Biology* 60: 893–901.
- Bearez P. 1998. FOCUS: First archaeological indication of fishing by poison in a sea environment by the Engoroy population of Salango (Manabí, Ecuador). *Journal of Archaeological Science* 25: 943–948.
- Beckley LE. 1985. Tidepool fishes: Recolonization after experimental elimination. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 85: 287–295.
- Betarbet R, Sherer T, MacKenzie G, Garcia-Osuna M, Panov A, Greenamyre J. 2000. Chronic systemic pesticide exposure reproduces features of Parkinson's disease. *Nature Neuroscience* 3: 1301–1306.
- Bright TJ, Tunnell JW, Pequegnat LH, Burke TE, Cashman CW, Cropper DA, Ray JP, Tresslar RC, Teerling J, Wills JB. 1974. Biotic zonation on the West Flower Garden Bank. Pages 3–54 in Bright TJ, Pequegnat LH, eds. *Biota of the West Flower Garden Bank*. Houston (TX): Gulf.
- Brock RE. 1982. A critique of the visual census method for assessing coral reef fish populations. *Bulletin of Marine Science* 32: 269–295.
- Bussing WA. 1972. Recolonization of a population of supratidal fishes at Eniwetok Atoll, Marshall Islands. *Atoll Research Bulletin* 154: 1–4.
- Carpenter KE. 2002. *The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic*. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication no. 5.
- Collette BB. 1986. Resilience of the fish assemblage in New England tidepools. *Fishery Bulletin* 84: 200–204.
- Collette BB, Williams JT, Thacker CE, Smith ML. 2003. Shore fishes of Navassa Island, West Indies: A case study on the need for rotenone sampling of reef fish biodiversity studies. *Aqua Journal of Ichthyology and Aquatic Biology* 6: 89–131.
- Cotterill FDP. 1995. Systematics, biological knowledge and environmental conservation. *Biodiversity and Conservation* 4: 183–205.
- Dennis GD, Smith-Vaniz WF, Colin PL, Hensley DA, McGehee MA. 2005. Shore fishes from the islands of the Mona Passage, Greater Antilles with comments on their zoogeography. *Caribbean Journal of Science* 41: 716–743.
- Dibble ED. 1991. A comparison of diving and rotenone methods for determining relative abundance of fish. *Transactions of the American Fisheries Society* 120: 663–666.
- Dubois A. 2003. The relationships between taxonomy and conservation biology in the century of extinctions. *Comptes Rendus Biologies* 326: S9–S21.
- Galzin R. 1979. La faune ichtyologique d'un récif corallien de Moorea, Polynésie française: Echantillonnage et premiers résultats. *Revue d'Écologie: La Terre et la Vie* 33: 623–643.
- Gilmore RG, Hastings PA, Kulczycki GR, Jennison GBL. 1981. Crystalline rotenone as a selective fish toxin. *Florida Scientist* 44: 193–203.
- Griffiths SP. 2000. The use of clove oil as an anaesthetic and method for sampling intertidal rockpool fishes. *Journal of Fish Biology* 57: 1453–1464.
- Grossman GD. 1982. Dynamics and organization of a rocky intertidal fish assemblage: The persistence and resilience of taxocene structure. *American Naturalist* 119: 611–637.
- Gundermann N, Popper D. 1975. Some aspects of recolonization of coral rocks in Eilat (Gulf of Aqaba) by fish populations after accidental poisoning. *Marine Biology* 33: 109–117.
- Harmelin-Vivien M, et al. 1985. Evaluation visuelle des peuplements et populations de poissons: Méthodes et problèmes. *Revue d'Écologie: La Terre et la Vie* 40: 467–539.
- Jaap WC, Wheaton J. 1975. Observations on Florida reef corals treated with fish-collecting chemicals. *Florida Marine Research Publications* 10: 1–8.
- Kulbiki M. 1990. Comparisons between rotenone poisoning and visual counts for density and biomass estimates of coral reef fish populations. Pages 105–112 in *Proceedings of the 1990 Congress of the International Society for Reef Studies*; 14–18 November 1990, Noumea, New Caledonia.
- Lardner R, Ivantsoff W, Crowley LELM. 1993.

- Recolonization by fishes of a rocky intertidal pool following repeated defaunation. *Australian Zoologist* 29: 85–92.
- Ling N. 2003. Rotenone—a Review of Its Toxicity and Use for Fisheries Management. Wellington (New Zealand): Department of Conservation. Science for Conservation no. 211.
- Lockett MM. 1998. The effect of rotenone on fishes and its use as a sampling technique: A survey. *Zeitschrift für Fishkunde* 5: 13–45.
- Mahon R, Mahon SD. 1994. Structure and resilience of a tidepool fish assemblage at Barbados. *Environmental Biology of Fishes* 41: 171–190.
- Marking LL. 1992. Evaluation of toxicants for the control of carp and other nuisance fishes. *Fisheries* 17: 6–13.
- McClay W. 2000. Rotenone use in North America (1988–1997). *Fisheries* 25: 15–21.
- Planes S, Galzin R, Bablet JP, Sale PF. 2005. Stability of coral reef fish assemblages impacted by nuclear tests. *Ecology* 86: 2578–2585.
- Polivka KM, Chotkowski MA. 1998. Recolonization of experimentally defaunated tidepools by northeast Pacific intertidal fishes. *Copeia* 1998: 456–462.
- Randall JE. 2007. Reef and Shore Fishes of the Hawaiian Islands. Honolulu: University of Hawaii Sea Grant College Program.
- Roberts CD, Stewart AL. 2006. Diversity and biogeography of coastal fishes of the East Cape region of New Zealand. *Science for Conservation* 260: 1–57.
- Robertson DR, Allen GR. 2006. Shorefishes of the Tropical Eastern Pacific: An Information System, version 2.0. CD-ROM. Balboa (Panamá): Smithsonian Tropical Research Institute.
- Rosa RS, Rosa IL, Rocha LA. 1997. Diversity of the tide pool ichthyofauna from Cabo Branco Beach, João Pessoa, Paraíba, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia* 14: 201–212.
- Ross ST, Doherty TA. 1994. Short-term persistence and stability of barrier island fish assemblages. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 38: 49–67.
- Sale PF. 1988. Perception, pattern, chance and the structure of reef fish communities. *Environmental Biology of Fishes* 21: 3–15.
- Schultz LP. 1948. The use of rotenone for collecting reef- and lagoon fishes at Bikini. *Copeia* 1948: 94–98.
- Singer TP, Ramsay RR. 1994. The reaction site of rotenone and ubiquinone with mitochondrial NADH dehydrogenase. *Biochimica et Biophysica Acta* 1187: 198–202.
- Smith CL. 1973. Small rotenone stations: A tool for studying coral reef fish communities. *American Museum Novitates* 2512: 1–21.
- Smith-Vaniz WF 2005. *Petroscites pylei*, a new saber-toothed blenny from the Fiji Islands (Teleostei: Blenniidae). *Zootaxa* 1046: 29–36.
- Smith-Vaniz WF, Jelks HL, Rocha LA. 2006. Relevance of cryptic fishes in biodiversity assessments: A case study at Buck Island Reef National Monument, St. Croix. *Bulletin of Marine Science* 79: 17–48.
- Thomson DA, Lehner CE. 1976. Resilience of a rocky intertidal fish community in a physically unstable environment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 22: 1–29.
- Willis TJ. 2001. Visual census methods underestimate density and diversity of cryptic reef fishes. *Journal of Fish Biology* 59: 1408–1411.
- Willis TJ, Roberts CD. 1996. Recolonisation and recruitment of fishes to intertidal rockpools at Wellington, New Zealand. *Environmental Biology of Fishes* 47: 329–343.
- Zapata F, Robertson DR. 2006. How many shore-fish species are there in the tropical eastern Pacific? *Journal of Biogeography* 34: 38–51.

doi:10.1641/B580211

Contient des information en référence ce sujet.