

Sous la direction d'Éric Fouilland
et de Françoise Gourmelon

EXPLORER L'ENVIRONNEMENT

DES SOLUTIONS
POUR INNOVER



CNRS ÉDITIONS

Sous la direction de
Éric Fouilland et Françoise Gourmelon

EXPLORER L'ENVIRONNEMENT

DES SOLUTIONS
POUR INNOVER

CNRS ÉDITIONS

15 rue Malebranche - 75005 Paris

Sommaire

Préface	9
Avant-propos	12
 PARTIE 1 – INNOVER PAR L'EXPLORATION DES POPULATIONS D'ORGANISMES	15
La taxonomie pour l'industrie agroalimentaire : la Spiruline.....	17
<i>Théotime Roussel, Jean-Paul Cadoret, Benjamin Marie, Cécile Bernard</i>	
Les cyanobactéries, sources d'inspiration pour le thermalisme.....	21
<i>Justine Demay, Anita Reinhardt, Benjamin Marie, Cécile Bernard</i>	
Explorer l'arbre du vivant.....	24
<i>Damien de Vienne</i>	
La génétique de la mouche soldat noire au service d'une entomoculture durable.....	28
<i>Jonathan Filée</i>	
Une nouvelle espèce d'insecte pour la bioprotection du maïs.....	32
<i>Laure Kaiser, Paul-André Calatayud, Jacques Frandon, Jean-Baptiste Thibord</i>	
De la glu contre les larves des cicadelles de la Flavescence Dorée de la vigne.....	37
<i>Marie Charlotte Anstett</i>	
Agro-écologie du cassis : restauration des pollinisateurs sauvages et des rendements.....	41
<i>Marie Charlotte Anstett, Maxime Duchet-Annez</i>	
Comprendre et développer l'apiculture sur chevron en Asie.....	45
<i>Nicolas Césard, Hélène Quach</i>	
Ça chauffe pour le frelon asiatique!.....	50
<i>Éric Darrouzet, Ignacio Ruiz, Laurence Berville, Florian Bastin, Pierre-Alban Mochet</i>	
Une formulation à base d'extrait de bois contre le moustique <i>Aedes aegypti</i>	53
<i>Emeline Houël, Gaëlle Fornet</i>	
Des crèmes solaires à base de polyphénols de macroalgues brunes.....	58
<i>Valérie Stiger-Pouvreau, Solène Connan</i>	
Diagnostic environnemental pour la détection du vecteur de la bilharziose urogénitale.....	61
<i>Manon Blin, Bruno Senghor, Stephen Mulero, Olivier Rey, Jérôme Boissier</i>	
Évaluer la santé grâce à la forme des mitochondries.....	65
<i>Abdel Aouacheria, Sophie Charrasse</i>	
Vacciner des populations sauvages d'albatros contre le choléra aviaire.....	69
<i>Thierry Boulonier, Hubert Gantelet, Amandine Gamble, Jérôme Tornos</i>	

Le profilage des requins pour gérer le risque de morsures	74
<i>Éric Clua, Sandra Baksay, Thomas Vignaud, Serge Planes</i>	
Une balise acoustique bio-inspirée pour limiter les captures accidentelles de dauphins.....	78
<i>Bastien Mériçot, Yves Le Gall, Alain Pochat, Loïc Lehnhoff, Hervé Glotin</i>	
Modélisation hydrodynamique des lagons pour l'exploitation de la perle noire.....	82
<i>Serge Andréfouët</i>	
Mesurer l'impact des petits barrages sur la mobilité des espèces aquatiques.....	86
<i>Jérôme Prunier, Simon Blanchet</i>	
Microrefuges pour la conservation du Cèdre de l'Atlas.....	91
<i>Rachid Cheddadi</i>	
Du parfum des églantiers sauvages à celui des roses coupées.....	95
<i>Jean-Claude Caissard, Sylvie Baudino</i>	
La modélisation mathématique au service de l'évaluation de la toxicité des substances chimiques.....	98
<i>Sandrine Charles</i>	

PARTIE 2 – INNOVER PAR L'EXPLORATION DES COMMUNAUTÉS D'ORGANISMES

PARTIE 2 – INNOVER PAR L'EXPLORATION DES COMMUNAUTÉS D'ORGANISMES	103
La « bioremédiation préventive » pour réduire la diffusion des pesticides.....	105
<i>Isabelle Batisson, Louis Carles, Pascale Besse-Hoggan</i>	
Réhabiliter les sols urbains dégradés.....	108
<i>Thomas Lerch, Irina Mikajlo, José Araujo, Anne Pando-Bahuon, Henri Robain</i>	
Un compostage de basse énergie bio-inspiré.....	112
<i>Sébastien Moreau, David Violleau, Maxime Cornillon</i>	
Un biostimulant agricole à base de litière forestière fermentée.....	118
<i>Pierre Christen, Thomas Lerch, Stéven Criquet, Victor Abecassis, Paula Fernandes</i>	
Les renouées du Japon et l'azote.....	121
<i>Florence Piola, Clément Bardon, Gilles Comte, Zahar Haichar, Franck Poly</i>	
Vers de nouveaux systèmes aquacoles.....	125
<i>Emmanuelle Roque d'Orbcastel, Meng Li, Mathieu Lutier, Éric Fouilland</i>	
Le microbiote de bivalves marins, source de probiotiques.....	130
<i>Hélène Cuny, Garance Leroy, Leila Parizadeh, Yannick Fleury</i>	
Atténuer les attaques par des mammifères marins de poissons capturés sur des lignes.....	134
<i>Pascal Bach, Njaratiana Rabearisoa</i>	
Cartographier la tolérance des coraux aux stress environnementaux.....	138
<i>Oliver Selmoni, Stéphane Joost, Gaël Lecellier, Véronique Berteaux-Lecellier</i>	
Surveiller les communautés d'insectes des aires protégées.....	143
<i>Thibaut Couturier, Bastien Mourguart, Nathalie Siefert, Adrien Jailloux, Aurélien Besnard</i>	

PARTIE 3 – INNOVER PAR L'EXPLORATION DES ÉCOSYSTÈMES	149
De l'étude des stalagmites au diagnostic des sols pollués	151
<i>Yves Perrette, Marine Quiers, Tanguy Wallet, Gaëlle Plassart</i>	
Minimiser l'infiltration des micropolluants des eaux pluviales routières	155
<i>Loïc Maurer, Julie Zumsteg, Adrien Wanko, Dimitri Heintz, Claire Villette</i>	
Comment tracer une source de pollution ancienne pour restaurer un écosystème aquatique ?	159
<i>Emmanuel Naffrechoux</i>	
Du chanvre pour enlever les métaux des eaux usées	164
<i>Chiara Mongiovì, Grégorio Crini</i>	
Des haies pour limiter les impacts des pesticides ?	168
<i>Clémentine Fritsch, Colette Bertrand, Céline Pelosi</i>	
Un référentiel de la diversité fonctionnelle des sols pour optimiser leur gestion	172
<i>Nathalie Cheviron, Erell Naslain, Françoise Poiroux, Alexandre Wadoux, Christian Mougin</i>	
De nouvelles opportunités pour cultiver sur sols contaminés	176
<i>Isabelle Lamy</i>	
Utiliser des fourmis pour restaurer la nature ?	180
<i>Thierry Dutoit, Adeline Bulot, Tania De Almeida, François Mesléard, Olivier Blight</i>	
Les zones tampons humides artificielles pour réduire la pollution des eaux	185
<i>Julien Tournebise, Cédric Chaumont, François Birmant</i>	
Les prés salés : protection douce des côtes et puits de carbone	190
<i>Benjamin Amann, Xavier Bertin, Pierre Polsenaere, Éric Chaumillon</i>	
Des structures artificielles plus sûres pour l'environnement marin	194
<i>Elisabeth Riera, Cédric Hubas</i>	
Des outils pour évaluer les actions de restauration en milieux aquatiques	200
<i>Cybill Staentzel, Jean-Nicolas Beisel</i>	
PARTIE 4 – INNOVER PAR L'EXPLORATION DES SOCIO-ÉCOSYSTÈMES	205
Transformer la viticulture pour l'adapter au changement climatique	207
<i>Hervé Quénot, Cyril Tissot, Laure de Rességuier, Laurence David, Émilie Adoir</i>	
Accompagner l'adaptation des territoires côtiers au changement climatique	211
<i>Marc Robin</i>	
Une relation gagnant-gagnant entre pêcheurs et scientifiques	216
<i>Alexia Pigeault, Nicolas Rollo, Brice Trouillet</i>	
Le rāhui : mobiliser une institution polynésienne pour la gestion des récifs	220
<i>Tamatoa Bambridge, Hunter Lenihan, Takurua Parent, Marguerite Taiarui, Jean Wencélius</i>	
Les zones portuaires : un environnement imbriquant enjeux écologiques et sociaux	225
<i>Bénédicte Madon, Camille Degache, Hélène Thomas</i>	

Gestion des espèces envahissantes en ville : le cas des tortues dans les parcs urbains.....	228
<i>Sandrine Glatron, Adine Hector, Véronique Philippot, Jean-Yves Georges</i>	
Renforcer la connexion entre les humains et l'environnement.....	232
<i>Gladys Barragan-Jason</i>	
Moustique tigre : mieux prévenir pour ne pas avoir à guérir.....	236
<i>Pénélope Duval, Claire Valiente Moro, Christina Aschan-Leygonie</i>	
Ouragame, un jeu pour appréhender la reconstruction post-catastrophe.....	240
<i>Delphine Grancher, Alix Chenel, Frédéric Leone, Brice Anselme, Paul Durand</i>	
La modélisation des réseaux écologiques au service de l'aménagement.....	244
<i>Yohan Sahraoui, Charles de Godoy Leski</i>	
Un modèle possibiliste pour anticiper l'avenir des socio-écosystèmes.....	248
<i>Cédric Gauchere, Maximilien Cosme</i>	
Un logiciel pour prédire la qualité de l'air dans les bâtiments.....	251
<i>Nadège Blond, Corentin Berger, Didier Hauglustaine, Alice Micolier, Maxence Mendez</i>	
Une combinaison prometteuse entre télédétection et modélisation paysagère pour la planification urbaine.....	255
<i>Elie Morin, Nicolas Bech</i>	
Un arbre de décision au service d'une gestion décentralisée des eaux usées.....	259
<i>Olivier Fouché-Grobla, Julie Arondel, Kévin Daudin, Jean-Michel Follin, Behzad Nasri</i>	
Le dispositif Careli : comprendre la complexité pour mieux gérer la biodiversité.....	263
<i>Patrick Giraudoux, Simon Calla, Geoffroy Couval, Pierre Feuvrier, Didier Pépin</i>	
ANNEXES	267
Références bibliographiques.....	269
Financements et partenaires.....	291
Les auteurs.....	315
Légendes des images d'ouverture de parties.....	327
Index.....	329
Comité éditorial.....	333

INNOVATIONS ÉCOLOGIQUES

Le profilage des requins pour gérer le risque de morsures

Éric Clua, Sandra Baksay, Thomas Vignaud, Serge Planes

Identifier les individus «à problèmes»

Les morsures de requin sur les humains sont rares (75-100 attaques non provoquées par an) mais en mesure de déstabiliser des économies insulaires basées sur le tourisme balnéaire. La gestion traditionnelle de ces agressions atypiques du requin est basée sur l'hypothèse de «densité-dépendance» selon laquelle le risque est directement corrélé à la densité des animaux concernés. De fait, celle-ci suggère la mise en œuvre de campagnes de «pêches de régulation», avec une logique de diminution du risque dès lors qu'il y aura moins de prédateurs. Cette hypothèse n'a jamais été clairement démontrée et conduit à l'abattage aveugle, aujourd'hui très controversé, de centaines d'animaux au sein de taxons en mal de conservation. L'hypothèse alternative qu'il existe des «animaux à problèmes» en milieu marin, à l'instar de ce qui a été prouvé avec les prédateurs terrestres (lions, ours, etc.), a été validée en 2018. Ces individus présentent : un comportement atypique par rapport à leurs congénères d'une même population, l'occurrence de multiples agressions et la volonté de se nourrir sur les humains (à tout le moins le tenter). Une telle démonstration engagerait à modifier la stratégie de gestion du risque en se focalisant sur l'identification et le retrait chirurgical de ces animaux cristallisant l'essentiel du danger. Il s'agirait d'une approche plus éthique, plus éco-responsable mais surtout plus efficace.

L'identification photographique et génétique des requins agressifs

Notre étude est composée de trois volets concernant trois géographies différentes, deux espèces de requins et deux méthodologies complémentaires. Le premier volet relève de l'analyse d'images vidéo collectées en Mer Rouge (Égypte) dans le cadre des plongées récréatives d'observation des requins océaniques de l'espèce *Carcharhinus longimanus*, considérée comme potentiellement dangereuse. Grâce à la photo-identification, nous avons pu isoler trois individus (deux mâles et une femelle, entre 2,50 et 3,50 m de long) responsables de neuf agressions sur des humains, dont une morsure mortelle sur une plongeuse en 2009. Un deuxième volet nous a conduit à photo-identifier un individu requin tigre *Galeocerdo cuvier* (femelle de 3,5 m



Touristes plongeurs observant des requins bouledogues (*Carcharhinus leucas*) sur un site de nourrissage artificiel aux Fidji qui permet de côtoyer ces animaux sans risque. Ce type de site pourrait être utilisé pour le suivi des animaux potentiellement dangereux, notamment pour leur photo-identification, l'évaluation de leur comportement et le prélèvement de leur ADN. Cette étude montre la synergie qui peut exister entre la gestion du risque et le développement éco-touristique local. Photo Th. Vignaud.

de long) responsable d'une dizaine d'agressions de plongeurs dans les eaux bordant l'île de Cocos (Costa Rica), dont une morsure mortelle en 2017 sur une plongeuse. Enfin, via une analyse génétique *ad hoc*, nous avons réussi à démontrer que le requin tigre responsable d'une morsure mortelle sur une nageuse dans les eaux de Saint-Martin (Antilles françaises) était aussi responsable d'une morsure non fatale sur une nageuse américaine dans les eaux de Saint-Kitts et Nevis (Antilles néerlandaises) à une distance de 85 km et 30 jours plus tard.

Identification et neutralisation des individus

L'innovation que nous proposons touche à la gestion du «risque requin». Elle comporte à la fois une dimension globale et une dimension technique. Sur le plan global, la stratégie innovante repose sur le changement de paradigme quant à la perception et à la compréhension des morsures, qui reposait jusqu'à aujourd'hui sur l'hypothèse que tout requin véhicule une probabilité non négligeable de s'en prendre aux humains, justifiant les pêches aveugles de régulation. Notre approche se focalise au contraire sur l'identification et la neutralisation des seuls «requins à problèmes» dont nous avons la preuve qu'ils sont à l'origine d'attaques souvent mortelles, afin d'éviter toute récurrence. Sur le plan technique, notre approche fait appel à des protocoles innovants qui intègrent : le profilage génétique ponctuel sur les blessures des victimes humaines (volet médico-légal), le profilage génétique en routine sur des requins potentiellement dangereux identifiés par photo et marquages afin que l'on puisse éventuellement les retrouver (volet écologique), la potentielle correspondance *matching* entre les ADN (médico-légaux et écologiques) suite à une morsure, et la neutralisation du «requin à problèmes». Outre son efficacité intrinsèque, une telle approche a le potentiel de réconcilier les humains avec les prédateurs.

Un service de profilage pour l'industrie du tourisme

Le transfert que nous envisageons repose sur la commercialisation d'une prestation qui sera prochainement mise à la disposition des autorités publiques en charge de la gestion du risque requin par une société créée à cet effet (SHARK SOLUTIONS SAS). Ce protocole intègre des volets incontournables et complémentaires relevant : scientifique (identification de l'espèce impliquée dans une morsure), technique (suivi du requin, collecte, conditionnement et analyse des prélèvements d'ADN – dernière étape qui sera probablement soustraite à MAREPOLIS SAS), médiatique et politique (éléments de langage dans le contexte d'une morsure afin d'éviter le développement de crises). Cette société, à même de fournir un service intégré, sera à l'interface entre un client (les autorités locales) et des fournisseurs en mesure de vendre des services techniques complémentaires (analyses génétiques, outils de marquage des requins, fournisseurs de supports médiatiques, etc.), sans négliger des acteurs académiques précieux pour l'amélioration des étapes de profilage génétique et de marquage des requins (recherche et développement). Le marché est certes à l'outremer français, mais aussi et surtout dans des pays hébergeant un tourisme en prise avec le risque requin, tels que l'Égypte ou l'Australie.