

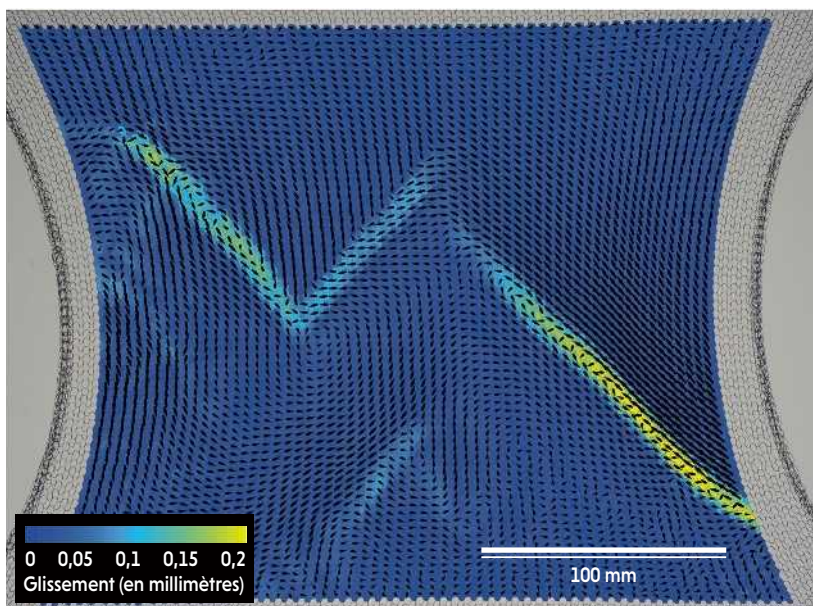
rapides : celles-ci correspondent au glissement soudain des points de contact et à la diminution associée de la résistance à la traction.

Les décrochements de la force présentent des amplitudes différentes, car un glissement ne correspond pas à un unique point de contact, mais à un ensemble de points plus ou moins nombreux qui glissent en même temps. Cette simultanéité est liée au fait que les mailles ne sont pas isolées les unes des autres, mais au contraire toutes connectées et reliées par le même fil. Pour repérer les points qui glissent lors d'un décrochage, nous avons pris des séquences de photos de tricot avec des étirements de 0,1% – une valeur insuffisante pour induire une déformation globale visible, mais assez importante pour déclencher un glissement de certains contacts. Les groupes de mailles qui glissent en même temps forment des ensembles très allongés (voir la figure ci-contre).

Comme nous l'avons dit, pour caractériser le bruit dû au glissement des points de contact, nous avons adopté une approche statistique. Nous avons examiné la distribution de probabilité de l'amplitude des décrochements, c'est-à-dire que nous avons répertorié tous les épisodes de glissement et nous avons noté de combien la force d'étirement baissait à chaque fois. Nous avons constaté qu'il y a de nombreuses petites baisses et très peu de baisses importantes. La distribution est globalement décrite par une loi de puissance (c'est-à-dire que la densité de probabilité est proportionnelle à l'amplitude de la baisse de la force élevée à une puissance donnée). Une conséquence de cette loi de puissance est ce qu'on appelle l'invariance d'échelle, qui signifie que certaines propriétés des événements de glissement sont indépendantes de leur taille.

Cette propriété est caractéristique du *crackling noise* (« crépitement »), à savoir une réponse intermittente que présentent de nombreux systèmes, où des phases de charge lente sont interrompues par des événements soudains. L'exemple le plus connu est celui des zones sismiques : quand deux plaques tectoniques en contact se déplacent en sens opposés (par exemple la plaque Pacifique et la plaque Nord-américaine), elles sont souvent dans une situation de blocage à cause de l'importance des frottements. De l'énergie de compression s'accumule progressivement, et lorsque les forces correspondantes surmontent les frottements, un glissement brusque survient et se traduit par un tremblement de terre.

En 1956, les géophysiciens Charles Richter et Beno Gutenberg ont proposé une loi statistique empirique qui décrit le nombre de séismes par unité de temps dans une région donnée en fonction de l'amplitude du séisme. Cette distribution de probabilité suit une loi de puissance. Parmi les autres exemples de



L'analyse de la photo d'un tricot subissant un étirement très faible de 0,1% permet de voir quelles mailles ont glissé au moment où la force d'étirement a vaincu les frottements. On observe clairement des mouvements d'ensemble.

crackling noise, on trouve le bruit du papier froissé, le bruit du crépitement d'un feu, le moment où une avalanche se déclenche, la production de pop-corn, etc. Tous ces phénomènes présentent le même profil statistique que les glissements de notre tricot.

SÉISMES, ROBOTS ET PULL-OVERS

Ainsi, l'étude des propriétés mécaniques du tricot a des liens surprenant avec des sujets très lointains comme la conception de matériaux pour des avions, la robotique et l'architecture ou comme l'étude statistique de phénomènes tels que les séismes. Il est particulièrement intéressant de retrouver une loi statistique universelle dans le tricot. Ce matériau permettra-t-il de mieux comprendre l'origine de cette universalité, voire d'offrir une façon simple de l'étudier en laboratoire (en tous cas bien plus accessible et contrôlable que les séismes) ? Lors des travaux que j'ai menés avec mes collègues, la façon dont nous avons modélisé le phénomène a été cruciale. Il a été nécessaire de simplifier le système (comme dans toute démarche de recherche). Mais si nous l'avions trop simplifié, nous aurions peut-être fait disparaître des aspects intéressants. Par exemple, si nous avions négligé le frottement, comme nous l'avions initialement envisagé, nous serions passés à côté du phénomène de crépitement.

L'étape suivante de nos recherches consistera à introduire davantage de complexité, pas à pas et de façon contrôlée, par exemple en jouant sur le type de maille (car il y a de nombreuses façons de tricoter ces mailles) ou sur les propriétés du fil. Et quand nous serons enfin parvenus à démêler toutes les subtilités du tricot, je serai peut-être en mesure de tricoter un beau pull pour ma grand-mère ! ■



© Reuters/Sylvain Cherkoui - Stock.adobe.com

Dans de nombreux pays tropicaux en développement, la majeure partie du poisson pêché est soit exportée pour la consommation, soit transformée localement pour produire de la farine de poisson, laquelle est ensuite exportée et utilisée pour nourrir les poissons d'élevage. C'est ce qui attend ces sardinelles dans une usine de Nouadhibou, le port principal de Mauritanie.

L'ESSENTIEL

> Dans les pays tropicaux en développement, le poisson constitue la principale source de micronutriments pour la majorité des gens.

> Néanmoins, ces populations souffrent de carences alimentaires sévères.

> Pourtant, dans certains de ces pays, les prises de pêche seraient suffisantes pour répondre à leurs besoins, si elles n'étaient pas exportées...

L'AUTEUR



DANIEL PAULY
professeur à l'Institut pour les océans et la pêche de l'université de la Colombie-Britannique, à Vancouver, au Canada

Les effets pervers du commerce du poisson

L'essentiel du poisson pêché dans les pays en voie de développement est expédié à l'étranger, alors qu'en consommer une fraction sur place suffirait à réduire les carences nutritionnelles dont souffrent les populations locales.

Manger du poisson est bon pour la santé. Le poisson est une source de micronutriments qui aident à prévenir les maladies liées aux carences alimentaires, l'une des principales causes de mortalité infantile dans le monde. La consommation de poisson pêché localement permettrait-elle de réduire l'incidence de ces maladies dans les pays touchés par ce problème? Il manquait des données pertinentes pour répondre à cette question. Une équipe menée par Christina Hicks, du centre pour l'environnement de l'université de Lancaster, au Royaume-Uni, et du centre pour l'étude des récifs coralliens de l'université James-Cook, en Australie, a évalué le contenu nutritionnel de 367 espèces de poissons pêchés dans 43 pays. Dans chaque pays, les chercheurs ont examiné le lien entre les nutriments disponibles dans les prises de pêche et la prévalence des maladies associées à des carences nutritionnelles dans les communautés vivant à moins de 100 kilomètres de la côte. Ils ont publié leurs résultats dans le journal *Nature*.

SIX MICRONUTRIMENTS ESSENTIELS

Christina Hicks et ses collègues se sont concentrés sur six micronutriments essentiels: le calcium, le fer, le zinc, le sélénium, les oméga-3 et la vitamine A. Ils ont également étudié la teneur en protéines. À l'aide de données déjà disponibles, les chercheurs ont créé un modèle permettant de prédire la concentration de chacun de ces nutriments dans différentes espèces de poissons. En exploitant des bases de données sur les prises de pêche réalisées entre 2010 et 2014, ils ont rassemblé des informations sur la quantité et le type de poissons pêchés dans la zone économique exclusive (ZEE) de chaque pays – les eaux côtières sur lesquelles il détient des droits de pêche souverains. Christina Hicks et ses collègues ont alors utilisé leur modèle pour estimer les nutriments disponibles à partir de ces prises et ainsi déterminer la répartition mondiale des nutriments issus de la pêche. Les poissons tropicaux offrent par exemple des concentrations plus élevées de calcium, de fer et de zinc que ceux des autres régions du globe.

Dans les pays tropicaux en développement, le poisson n'est pas, en général, un simple complément sain à un éventail déjà riche de produits alimentaires. Au contraire, pour des millions de gens vivant dans ces régions, il apporte les micronutriments et protéines absents d'une alimentation qui, sans lui, serait déséquilibrée. Il en constitue même la principale source pour la majorité d'entre eux. Les

protéines provenant de la pêche complètent le contenu nutritionnel des régimes alimentaires typiques de ces pays, où les calories proviennent principalement d'aliments tels que le maïs ou le riz.

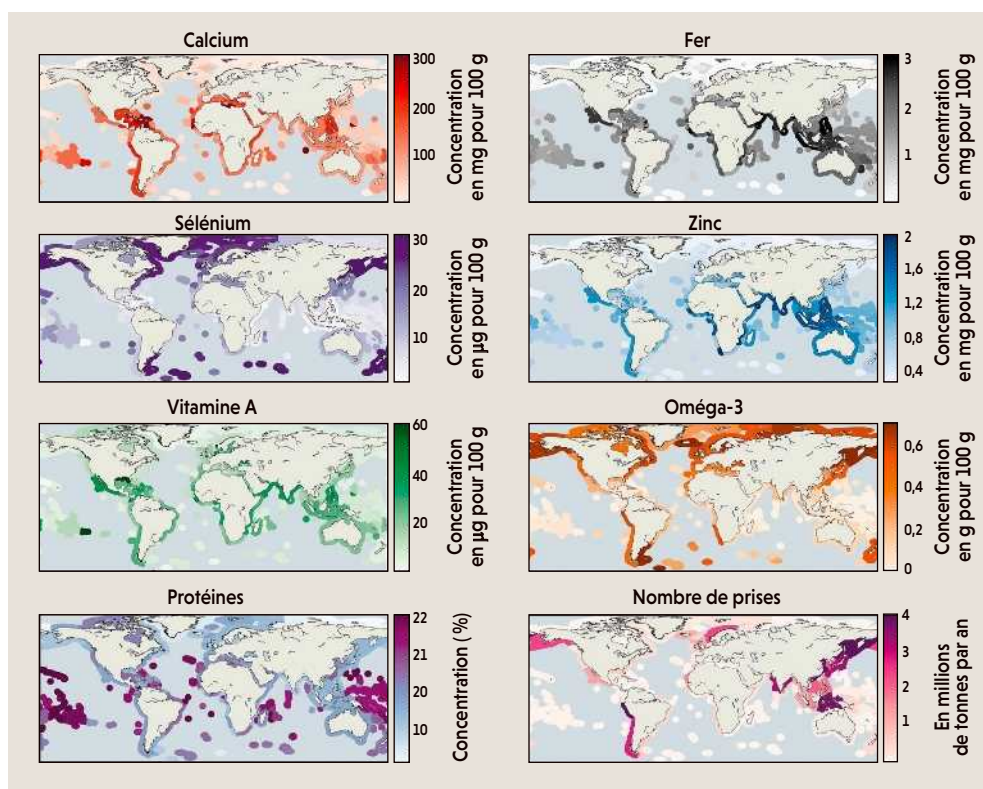
DES PRISES DE PÊCHE SUFFISANTES POUR LES BESOINS LOCAUX

Les données de Christina Hicks et de ses collègues montrent que dans certains de ces pays, les prises de la pêche devraient être suffisantes pour répondre aux besoins en micronutriments des populations. Par exemple, plus de 75% de la population namibienne est menacée de carence en calcium, alors même que sont pêchés en Namibie suffisamment de

L'équipe a évalué le contenu nutritionnel de 367 espèces de poissons pêchés dans 43 pays

En Mauritanie, la pêche artisanale peine à nourrir les populations.





Dans la zone économique exclusive de chaque pays côtier, Christina Hicks et ses collègues ont évalué les concentrations en divers nutriments et en protéines dans les poissons locaux, et les ont mises en regard des prises globales de pêche.

poissons pour remédier à cette situation. Parfois même, conserver pour la consommation locale ne serait-ce qu'une fraction des quantités totales de poisson pêchées aurait un impact considérable sur la santé publique. C'est particulièrement vrai pour les enfants de moins de 5 ans, à un stade crucial de leur développement où les carences en micronutriments ont de graves conséquences. Pour 22 des 43 pays étudiés dans ces travaux, moins de 20% des quantités de poissons pêchés fourniraient assez de micronutriments essentiels pour répondre aux besoins de tous les enfants de moins de 5 ans.

Non seulement les pénuries de micronutriments nuisent à la santé publique, mais ce problème se répercute aussi sur le PIB. Il serait donc logique que les gouvernements des pays en développement situés sous les Tropiques – ainsi que les organisations internationales d'aide au développement telles que les Nations unies – fassent tout leur possible pour encourager la consommation locale du poisson pêché dans les zones économiques exclusives de ces pays. Et pourtant, la majeure partie des politiques de développement économique, y compris celles de ces pays eux-mêmes, visent à promouvoir les exportations de poisson pour répondre à la demande insatiable des pays occidentaux et d'Asie orientale.

La surpêche a d'abord frappé les eaux bordant les pays développés avant de s'étendre aux autres pays. Par exemple, les prises des

pêcheries de l'Atlantique Nord ont culminé en 1975, alors que la pêche mondiale a atteint un sommet en 1996. Les interdictions et les quotas imposés aux régions surexploitées ont poussé les pays concernés à se fournir en poisson ailleurs. De nos jours, une grande partie des produits halieutiques des régions en développement sont soit pris par les pêcheurs locaux et exportés, soit pêchés par des flottes étrangères qui, en payant un droit symbolique pour accéder aux zones économiques exclusives des pays en développement, fournissent directement leur propre marché. De telles actions contribuent à la pénurie de micronutriments dans de nombreux pays en développement.

PÉNURIE DE SARDINELLES AU SÉNÉGAL

Les pays de la côte nord-ouest de l'Afrique sont peut-être les plus touchés. La pêche qu'y pratiquent les flottes de l'Union européenne, de la Russie et de l'Asie de l'Est – et les exportations massives de poisson vers l'Union européenne – y ont entraîné une pénurie de poissons locaux et l'augmentation de leur prix, ce qui a rendu le poisson de plus en plus inaccessible aux consommateurs locaux. Au Sénégal, l'un des pays que Christina Hicks et ses collègues ont étudiés, la sardinelle, riche en micronutriments, est un aliment de base depuis des siècles. Un film documentaire de 2016 intitulé *An Ocean Mystery: The Missing* >

Ce texte est une traduction de l'article « How the global fish market contributes to human micronutrient deficiencies », publié sur *Nature.com* le 25 septembre 2019.

LES MILLE ET UNE VIES DE DANIEL PAULY

C'est en 1971 que Daniel Pauly, alors étudiant en écologie marine à l'institut océanographique de Kiel, en Allemagne, a découvert l'Afrique. Sa mission : réunir des données sur les pêcheries de la lagune de Sakumo, sur la côte du Ghana. Un jour sur deux, le jeune homme dévore toute la documentation locale disponible. Les autres jours, il arpente à pied la lagune, d'une profondeur moyenne de 50 centimètres. Peu à peu, il visualise toutes les espèces en présence, leurs interactions et le rôle des pêcheries. À l'époque, les pêcheries locales sont artisanales et servent à nourrir

les populations, et, dans son rapport, Daniel Pauly effectue une série de propositions pour les développer.

En 1978, cependant, lors d'une mission d'une autre ampleur aux Philippines, visant cette fois à construire une théorie des pêcheries du Sud-Est asiatique, Daniel Pauly découvre un tout autre paysage, dominé par des pêcheries industrielles tournées vers l'exportation, au détriment des populations locales. Situation qu'il ne manque pas de dénoncer à l'époque. Depuis, il n'a de cesse de révéler l'impact de la surpêche sur les écosystèmes marins et les populations locales, que ce soit en Asie, en Afrique ou en Amérique du Sud. C'est ainsi qu'en 2016, après une décennie passée à confronter tous les documents possibles pour chaque pays côtier du globe – publications, rapports techniques, registres portuaires, archives coloniales, imagerie satellite des infrastructures de pêche –, son équipe, avec l'aide de nombre d'experts locaux,

a obtenu, pour la première fois, une estimation des prises réelles de pêche (quantités et types de poisson) dans le monde de 1950 aux années 2010.

C'est grâce à ces données que Christina Hicks et ses collègues ont pu déterminer quels poissons étaient susceptibles d'apporter quels nutriments aux populations des pays côtiers en développement. Elles ont par ailleurs révélé que les prises globales réelles de pêche étaient bien plus importantes que ne le rapportait la FAO, l'organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (elles ont atteint 130 millions de tonnes en 1996, contre 86 millions de tonnes selon la FAO), et qu'elles déclinaient bien plus vite qu'on ne le pensait, non pas grâce à une meilleure réglementation, mais à cause d'un appauvrissement des ressources...

Et ce n'est qu'un petit aperçu du combat que Daniel Pauly mène depuis toujours, comme le montre David Grémillet, océanographe



et directeur de recherche au CNRS, dans son ouvrage *Daniel Pauly, un océan de combat* (Wildproject, 2019). Né en 1946 d'une ouvrière française et d'un GI afro-américain, le biologiste franco-canadien a vécu mille et une vies dès l'enfance, que David Grémillet a su capter et transmettre avec une passion communicative.

MARIE-NEIGE CORDONNIER

> *Catch* montre comment des femmes sénégalaises fument les sardinelles, les sèchent et les transforment à la main, avant que ces poissons soient transportés par camion vers l'intérieur du pays, où ils sont la source principale abordable de micronutriments et de protéines animales. Le chef des travailleurs interviewé dans ce film explique que ce serait une catastrophe si l'approvisionnement en sardinelles était interrompu.

SOUS L'EMPRISE CHINOISE

Depuis, cette catastrophe redoutée a commencé à se produire. À la grande consternation des populations locales, plus de 40 usines industrielles de transformation de poisson ont été construites, principalement par des entreprises chinoises, le long de la côte du Sénégal et dans les pays voisins. Ces usines transforment la sardinelle et d'autres petits poissons en farine de poisson, un produit pour l'alimentation animale. De nombreuses pêcheries, qui fournissaient traditionnellement les marchés régionaux en sardinelles destinées à la consommation locale, approvisionnent désormais les usines de farine de poisson. Celles-ci exportent leurs produits principalement vers la Chine, le plus grand importateur mondial de farine de

poisson, où elle sert à nourrir les poissons d'élevage.

Les consommateurs avisés font souvent attention à manger du poisson «pêché de façon durable». Ce qualificatif un peu flou recouvre l'idée que ces poissons ont souffert le moins possible et que leurs stocks sont gérés de façon à assurer le maintien des populations. Si ces poissons proviennent d'élevages piscicoles, comme c'est le cas pour la plupart des saumons commercialisés, on considère aussi que c'est une bonne chose, car on pense en général que l'aquaculture réduit la pression sur les populations sauvages. Toutefois, l'exploitation de la sardinelle pour la fabrication de farine de poisson ne réduit pas la pression sur les poissons sauvages. En outre, elle prive les populations des pays en développement de poissons locaux auparavant abordables, et ce pour favoriser la production de poissons d'élevage coûteux, principalement consommés dans les pays riches.

Lorsque nous réfléchissons au poisson que nous devrions manger, puisque le poisson est bon pour nous, il est temps que nous définissions ce que recouvre ce «nous». Le travail de Christina Hicks et de ses collègues montre une voie possible pour prévenir les maladies dues aux carences alimentaires : mettre en regard les problèmes de disponibilité du poisson. ■

BIBLIOGRAPHIE

C. C. Hicks et al., **Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies**, *Nature*, vol. 574, pp. 95-98, 3 octobre 2019.

D. Grémillet, **Daniel Pauly : un océan de combats**, Wildproject, 2019.

D. Pauly et D. Zeller, **Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining**, *Nat. Commun.*, vol. 7, article 10244, 2016.

L'UNIVERS AVANT LE BIG BANG

- 7 dossiers rédigés par des chercheurs et des experts sur le sujet
- Une lecture adaptée sur écrans

3,99 €



Les *Thema* sont une collection de hors-séries numériques. Chaque numéro contient une sélection des meilleurs articles publiés dans *Pour la Science* sur une thématique.

Dans la collection *Thema* découvrez aussi



**Commandez et téléchargez
les numéros en pdf**



Pour lire votre numéro, rendez-vous dans votre compte client



boutique.pourlascience.fr/tous-les-numeros/thema.html