



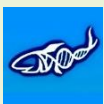
LES BOUSIERS AIDENT À MAINTENIR LES ÉCOSYSTÈMES EN SANTÉ

Paul Manning¹, Xin Rui Ong², Eleanor M. Slade²

¹Dalhousie University, Canada

²Asian School of the Environment, College of Science, Nanyang Technological University, Singapore

JEUNES RELECTEURS:



FDR-HB_
PERU IGEM
TEAM
ÂGE: 14 – 17

Les bousiers sont des insectes coléoptères qui utilisent principalement les excréments des mammifères pour se nourrir et se reproduire. Ils jouent un rôle important dans la décomposition et le recyclage des excréments dans le sol, ce qui permet aux nutriments contenus dans les excréments, tels que le carbone et l'azote, de circuler dans l'écosystème. Par leur activité, ces coléoptères apportent participant au fonctionnement des paysages naturels et modifiés par l'homme, permettant notamment la dispersion des graines, la réduction des parasites du bétail, facilitant la croissance des plantes et peuvent réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant des excréments. Dans cet article, nous allons explorer le cycle de vie de base des bousiers. Nous approfondissons ensuite un peu plus sur l'importance des bousiers dans les forêts tropicales et les écosystèmes agricoles.

QUELQUES ÉLÉMENTS SUR LA BIOLOGIE DES BOUSIERS

De nombreux lecteurs connaissent les bousiers grâce aux documentaires animaliers. En effet, qui n'a pas eu un jour cette image d'un scarabée roulant frénétiquement une boule d'excrément, bataillant pour éviter les obstacles se dressant sur son chemin ? Bien que ces scènes soient plus ou moins faciles à observer selon les régions du monde, les lecteurs seront peut-être surpris d'apprendre que les bousiers sont présents dans la majeure partie du globe (Figure 1A-D), sauf l'Antarctique !

Ce groupe de coléoptères doit son nom à son habitude d'utiliser les excréments des mammifères pour se nourrir et se reproduire. Cependant, certaines espèces sont des détritivores plus généralistes pouvant consommer de la chair en décomposition, des champignons, des fruits, etc. Certaines ont complètement orienté leur régime alimentaire pour se nourrir de mille-pattes et des fourmis mortes ! Comme tous les coléoptères, les bousiers ont deux paires d'ailes : une première paire d'ailes flexibles utilisées pour le vol, recouvertes par une paire d'ailes dures qui leur sert d'armure (les élytres). Tous les bousiers ont des antennes qui s'élargissent aux extrémités pour former une massue et les mâles de certaines espèces possèdent des cornes impressionnantes qu'ils utilisent pour se battre pour les femelles (Figure 1C). Il existe plus de 7 000 espèces différentes de bousiers, et de nouvelles espèces sont découvertes chaque année.

Figure 1

Exemples d'espèces observables en milieu tempéré et tropical. **(A)** *Acrossus rufipes* appartient à la guilde des résidents. Il a activité nocturne, et se trouve en abondance dans les pâturages à bovins d'Europe tempérée. Il constitue une source de nourriture importante pour certaines chauves-souris.

(B) *Onthophagus coenobita* est un fouisseur européen, observables dans les pâturages mais aussi en forêt. On le voit ici transporter de minuscules acariens qui utilisent les bousiers pour transiter d'excréments en excréments.

(C) *Proagoderus watanabei* (ici un mâle), une espèce fouisseuse trouvée dans les forêts tropicales de Malaisie (ici à Sabah), se nourrissant de bouses de grands mammifères.

(D) *Paragymnopleurus maurus*, un bousier rouleleur trouvé à Sabah, en Malaisie, en train de pousser, grâce à ses pattes arrière, une boulette fécale vers un terrier qu'il creusera à quelque distance du tas de bouse.

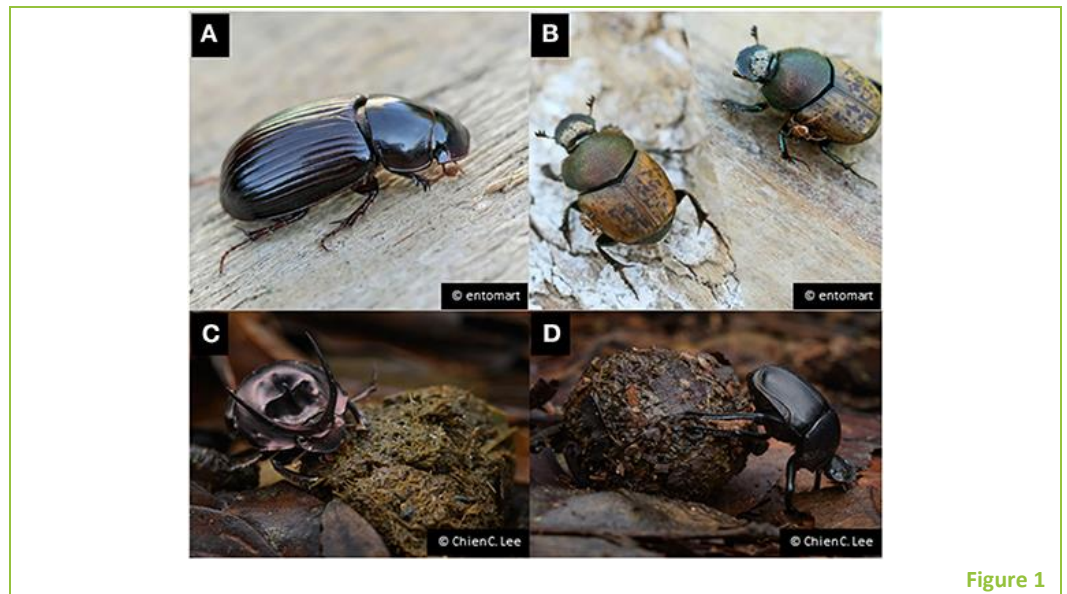


Figure 1

Les bousiers peuvent être classés en trois groupes principaux en fonction de leurs habitudes alimentaires et leur mode de reproduction (Figure 2). On appelle également ces groupes des « guildes ». La première guilde est celle des bousiers résidents. Les résidents arrivent sur un tas d'excrément et s'y installent rapidement. À l'intérieur de la déjection, ils s'accouplent et pondent leurs œufs. Une fois écloses, les larves (la forme immature des coléoptères) passent la totalité de leur développement à se nourrir dans le tas de fumier qui leur sert de maison et de source de nourriture (Figure 2A). Elles peuvent toutefois se déplacer dans les premiers centimètres du sol selon les conditions. La deuxième guilde est celle des fouisseurs. Les femelles de ce groupe, avec ou sans l'aide

MATIÈRE ORGANIQUE

Composés provenant des restes d'organismes morts, comme les plantes, les champignons et les animaux.

Figure 2

Les trois stratégies de reproduction utilisées par les bousiers. **(A)** Les bousiers résidents pondent leurs œufs directement dans les excréments où les larves se développent. **(B)** Les coléoptères fouisseurs creusent des tunnels dans le sol où ils façonnent de petites masses d'excrément appelées pilules de couvain. La femelle pond des œufs dans ces pilules, qui constituent des réserves alimentaires pour les larves. **(C)** Les bousiers rouleurs récoltent une boule d'excrément et la roulent plus loin pour ensuite l'enfouir dans un terrier : une façon de sécuriser leur ressource. Pour la reproduction, la boule est remodelée en une ou plusieurs pilules, chacune recevant un œuf.

du mâle selon les espèces, arrivent sur la bouse et commencent à creuser un tunnel dans le sol qui peut être ramifié en plusieurs galeries. Au fond de ces galeries, elles enfouissent des morceaux d'excrément ramenés depuis la surface, formant des masses appelées pilules, destinées à leur progéniture. Les mâles se disputent la femelle et son tunnel, qu'ils défendent jusqu'à ce que la femelle soit accouplée avec eux et pondent ses œufs dans les pilules (Figure 2B). On trouve enfin la guildes des rouleurs. Lorsqu'ils arrivent sur une bouse, les rouleurs sculptent une boule qu'ils transportent et roulent à l'aide de leurs pattes arrière. Pour la reproduction, il arrive souvent que le mâle et la femelle roulent cette boule ensemble. Arrivés à un endroit convenable (au pied d'une touffe d'herbe ou d'une pierre), ils enfouissent la boule qui sera retravaillée par la femelle pour la ponte. La pilule reçoit un œuf unique, et la larve se nourrit de la boule d'excréments pendant toute la durée de son développement, en toute sécurité dans le sol (Figure 2C). Quelle que soit la méthode utilisée par le bousier pour se nourrir et se reproduire, ses activités ajoutent et mélangent de la **matière organique** dans le sol. Cela est extrêmement important pour les autres organismes du sol et apporte un supplément de nutriments utilisable par les plantes.

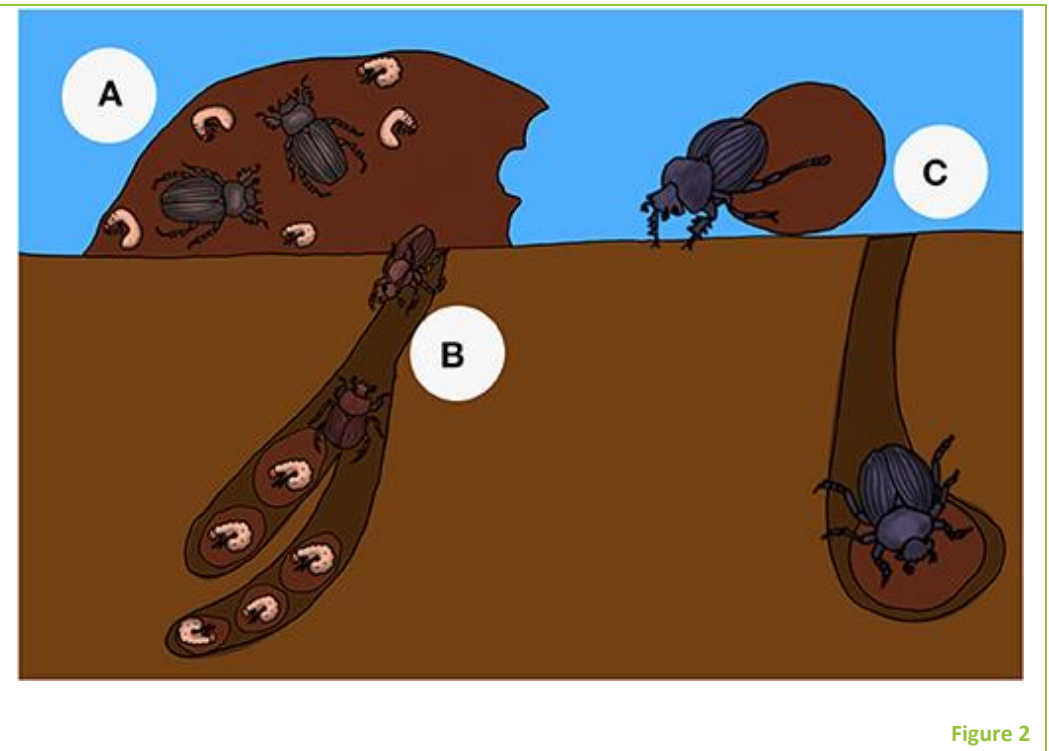


Figure 2

LES BOUSIERS DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS TROPICAUX

Les bousiers forment des réseaux d'interactions avec les mammifères dont ils consomment les excréments. Les mammifères et les bousiers ont également des interactions avec les plantes à fruits dont ils dispersent les graines dans les excréments (Figure 3A). Si certains mammifères s'éteignent, cela peut impacter les bousiers qui se nourrissent de leurs excréments et, par conséquent, la distribution des plantes à fruits dont ils dispersent les graines [1] (Figure 3B).

BIODIVERSITÉ

La diversité de la vie sur Terre.

FRAGMENTATION

Le processus de découpage d'un habitat en fragments de parcelles plus petites.

Figure 3

Interactions simplifiées entre les mammifères, les bousiers et les fruits des plantes forestières dans (A) un écosystème non perturbé, (B) un écosystème modérément perturbé ou fragmenté, et (C) un écosystème fortement perturbé ou fragmenté. Les pertes en espèces et en interactions sont indiquées en gris.

Trois types d'interactions sont possibles : 1) mammifère-graines - seuls les mammifères dispersent les graines ; 2) mammifère-bousiers - il n'y a pas de dispersion des graines ; 3) mammifère-bousier-graines - les mammifères et les bousiers dispersent les graines. Dans un écosystème modérément perturbé ou fragmenté (B), les bousiers peuvent changer leurs préférences alimentaires pour un autre type d'excrément suivant la disparition de deux espèces de mammifères. Cela ne se produit pas dans un écosystème trop fortement perturbé ou fragmenté (C), où les bousiers et des interactions disparaissent.

Pour comprendre ces interactions et évaluer ces impacts, nous avons conduit plusieurs études dans les forêts tropicales du Brésil, de Singapour et de Malaisie. Ces forêts tropicales ont perdu une partie de leur **biodiversité** à cause de la déforestation, de la **fragmentation** et de la chasse. Nous nous attendons à ce que le nombre d'espèces de mammifères diminue à mesure que les forêts sont perturbées et fragmentées en parcelles plus petites, et par conséquent, à ce que les bousiers soient moins nombreux. Nous avons supposé que les interactions entre les mammifères, les bousiers et les plantes à fruits seraient moins diversifiées dans les zones perturbées et les parcelles forestières isolées par rapport aux zones forestières les plus préservées.

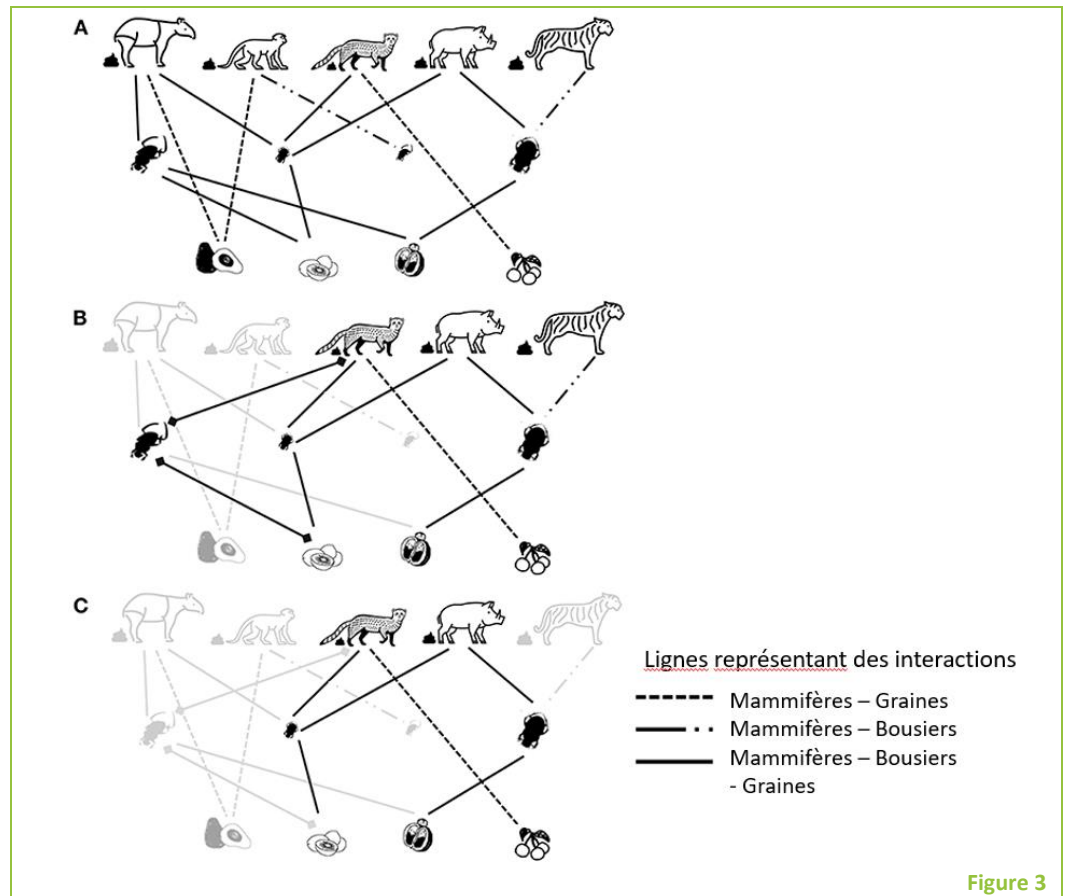


Figure 3

Pour vérifier nos prédictions, nous avons installé des pièges appâtés avec des excréments de différents mammifères dans des habitats allant des forêts préservées aux plantations de palmiers à huile. Nous avons également comparé des grandes zones de forêt continues à des petites parcelles de forêt, fragmentées par la déforestation. Nous avons ensuite compté et identifié les bousiers qui étaient attirés par chaque type d'excrément dans chaque type d'habitat (ex. grande forêt continue, petites parcelles de forêt, plantations). Nous avons constaté que les interactions bousiers-mammifères des forêts tropicales sont assez **résilientes**, c'est-à-dire qu'elles ne changent pas beaucoup en réponse à l'exploitation forestière et à la fragmentation. Nous pensons que cela est dû au fait que les bousiers ne sont pas très pointilleux sur le type de bouse qu'ils mangent, et qu'ils peuvent s'adapter à différentes ressources selon la disponibilité dans l'environnement où ils se trouvent. Si de nombreux coléoptères ont un type de nourriture préféré, peu d'entre eux se spécialisent dans un seul type de bouse. Ainsi, nos résultats suggèrent que si

RÉSILIENT

Capacité d'un système à retrouver ou à conserver son mode de fonctionnement suite à des changements, perturbations.

une espèce de mammifère disparaît d'une zone, la plupart des bousiers peuvent se rabattre sur les excréments d'une autre espèce de mammifère pour leurs prochains repas (Figure 3B). Nous avons découvert que certains bousiers se nourrissent même d'excréments de pythons ! Cependant, bien que les réseaux soient résilients dans les habitats modérément perturbés, nous avons tout de même constaté que dans les sites les plus perturbés, comme les plantations d'huile de palme et les petites parcelles forestières isolées, les réseaux d'interactions sont beaucoup plus simplifiés, avec moins d'espèces de scarabées et moins d'interactions entre les coléoptères et les mammifères [2] (Figure 3C).

L'utilisation de pièges appâtés avec des excréments pour attraper des coléoptères nous indique uniquement si les coléoptères sont attirés par ces déjections, mais pas si ces coléoptères se reproduisent réellement à partir des différents types d'excrément proposés. Dans nos études par exemple, nous n'avons pu appâter nos pièges qu'avec des excréments de mammifères que nous pouvions facilement trouver, comme des animaux détenus dans les zoos. Aujourd'hui, de nouvelles méthodes de laboratoire nous permettent de savoir exactement de quel type d'excrément les bousiers se sont nourris. Pour cela, nous analysons le contenu intestinal des coléoptères que nous capturons pour caractériser le matériel génétique qu'il contient. De cette façon, si nous trouvons du matériel génétique de tapir et de sanglier dans le contenu intestinal d'un bousier, nous savons que les excréments de ces mammifères ont servi au repas du bousier avant qu'ils soient capturés. Nous espérons que cela nous permettra de documenter des réseaux plus complets, de détecter des espèces de mammifères rares ou difficiles à étudier, mais aussi d'étudier des interactions dans des habitats peu étudiés des forêts tropicales comme la canopée - oui, on trouve aussi des bousiers au sommet des arbres !

LES BOUSIERS DANS LES ÉCOSYSTÈMES AGRICOLES

Les bousiers sont des membres importants des **écosystèmes** agricoles, et de nombreux chercheurs ont exploré la manière dont les bousiers contribuent au fonctionnement des systèmes d'élevage [3]. Par exemple, parmi les mouches nuisibles au bétail, certaines pondent leurs œufs dans les bouses dans lesquelles les larves se développent. Par leur activité d'enfouissement, les bousiers privent les mouches d'une partie de la bouse dont elles ont besoin pour se reproduire, et aident ainsi à limiter le développement des insectes nuisibles aux animaux de la ferme. Les bousiers interviennent également dans le cycle des parasites du bétail. Un certain nombre de nématodes parasites du bétail, qui sont de minuscules vers, sont mangés par les animaux qui paissent dans les pâturages. Les **nématodes** se multiplient ensuite dans les animaux et leurs œufs sont excrétés dans les excréments. Lorsque les œufs éclosent, les larves migrent vers l'herbe et sont ingérées par les animaux en pâture, comme les vaches ou les moutons, ce qui augmente rapidement les taux d'infection. Lorsque les bousiers creusent leurs galeries et dilapident les excréments, ils provoquent leur assèchement. Cela crée des conditions néfastes au développement des œufs des parasites contribuant ainsi à réduire le nombre de nématodes parasites dans les pâturages.

ÉCOSYSTÈME

Une communauté d'animaux, de plantes, de bactéries et de champignons vivant dans un environnement particulier avec les composants non vivants de cet environnement.

NÉMATODES

Groupe de vers, également connus sous le nom de vers ronds, que l'on trouve dans le sol et les milieux aquatiques et qui peuvent parasiter les plantes et les animaux.

Le rôle principal des bousiers dans les élevages réside dans le fait qu'ils nettoient les pâturages des déjections du bétail qui, sans ces insectes, s'accumuleraient à la surface du sol et empêcheraient la bonne croissance de l'herbe. Mais étant donné que les bousiers sont relativement petits et souvent discrets, de nombreux agriculteurs ignorent la présence de ces insectes et les services qu'ils rendent dans leur exploitation. Pourtant, malgré leur petite taille, les bousiers permettent à l'industrie bovine du Royaume-Uni d'économiser environ 367 millions de livres par an [4] !

Les bousiers sont sensibles à la façon dont les pâturages sont gérés. Dans une étude réalisée en Irlande, des scientifiques ont collecté des bousiers dans une série d'exploitations bovines en comparant des exploitations conventionnelles, qui utilisaient des engrais artificiels et des insecticides, à des exploitations gérées de manière biologique, qui n'en utilisaient aucun [5]. Les chercheurs ont constaté que les communautés de bousiers étaient plus abondantes et plus riches en espèces dans les exploitations en comparaison des exploitations conventionnelles. Nous avons également démontré que le fait d'avoir plus d'espèces de bousiers actifs au même endroit augmente la croissance des plantes, sans forcément améliorer la porosité du sol [6].

Les **produits antiparasitaires** constituent également une menace sérieuse pour les bousiers vivant dans les écosystèmes agricoles. Il s'agit de produits chimiques administrés au bétail pour protéger les animaux d'élevage contre les parasites (tiques, les puces, les nématodes, etc.). Certains de ces parasites nuisent aux animaux en se nourrissant de leur sang et en transmettant parfois des maladies. Le problème est que certaines molécules antiparasitaires se retrouvent dans les excréments des animaux traités, de sorte que les produits chimiques sensés tuer les parasites nuisent également aux bousiers qui mangent les excréments. Nous avons notamment démontré qu'un produit antiparasitaire couramment utilisé pour traiter le bétail peut tuer les bousiers qui se nourrissent des déjections toxiques, et nuit également à leur reproduction. Cela réduit la santé et l'abondance de bousiers et, par conséquent, cela réduit également la quantité d'excrément qu'ils dégradent [6]. Une façon de limiter ces dégâts est de réduire l'utilisation des produits les plus toxiques et de ne cibler que les animaux qui nécessitent réellement un traitement (par exemple en ne traitant que les plus infestés).

PRÉCIEUX ET FASCINANTS BOUSIERS

Comme vous pouvez le constater, les bousiers sont précieux. Comme vous le savez maintenant, ils jouent de nombreux rôles écologiques importants dans les écosystèmes naturels et agricoles. Mesurer l'état de leurs populations peut nous aider à mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes et leur sensibilité aux perturbations peut nous permettre d'évaluer les conséquences des activités humaines.

Dans les écosystèmes forestiers tropicaux, la disparition de certaines espèces de bousiers peut nous indiquer une perturbation des communautés de mammifères, et ces disparitions peuvent nous renseigner sur la santé des forêts. La disparition des bousiers et d'autres animaux du sol en raison de

PRODUITS ANTIPARASITAIRES

Médicaments administrés aux animaux d'élevage (type vaches, brebis, chevaux, chèvres) pour lutter contre leurs parasites.

perturbations chimiques et environnementales aurait un impact négatif pour la fertilité de nos sols et les graines de nombreuses plantes seraient moins efficacement dispersées.

En plus d'être infiniment précieux, plusieurs études ont mis en lumière les comportements fascinants de ces insectes. On a ainsi découvert que certains bousiers se déplacent en utilisant l'emplacement du soleil ou le sillon de la voie lactée dans le ciel, tandis que d'autres dispersent les graines d'une plante africaine qui trompe les insectes en ayant développé des graines qui ressemblent et sentent comme un crottin d'antilope !

Gardez les yeux ouverts sur ces créatures fascinantes où que vous soyez, vous n'avez pas idée des découvertes que vous pourriez faire !

REMERCIEMENT

Nous remercions Chien C. Lee de nous avoir permis d'utiliser ses photos de bousiers prises à Sabah, en Malaisie - ses photos sont visibles sur www.chienclee.com. PM est soutenu par une bourse postdoctorale du Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada. XRO est soutenue par une bourse d'études supérieures délivrée par l'Université de technologie de Nanyang, Singapour (Nanyang President's Graduate Scholarship).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Raine EH, Slade EM. 2019 Dung beetle–mammal associations: methods, research trends and future directions. *Proc. R. Soc. B* 286: 20182002. doi:10.1098/rspb.2018.2002
- [2] Ong XR, Slade EM & Lim MLM. Dung beetle-megafauna trophic networks in Singapore's fragmented forests. *Biotropica*. In press. doi:10.1111/btp.12840
- [3] Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcuita, S., Favila, M., & The Scarabaeinae Research Network. (2008). Ecological functions and ecosystem services of Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*, 141, 1461-1474. doi:10.1016/j.biocon.2008.04.011
- [4] Beynon, S. A., Wainwright, W. A., & Christie, M. (2015). The application of an ecosystem services framework to estimate the economic value of dung beetles to the UK cattle industry. *Ecological Entomology*, 40, 124-135. In review
- [5] Hutton, S. A., & Giller, P. S. (2003). The effects of the intensification of agriculture on northern temperate dung beetle communities. *Journal of Applied Ecology*, 40(6), 994-1007.
- [6] Manning, P., Slade, E. M., Beynon, S. A., & Lewis, O. T. (2017). Effect of dung beetle species richness and chemical perturbation on multiple ecosystem functions. *Ecological Entomology*, 42(5), 577-586.

EDITED BY: Helen Phillips, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

CITATION: Manning P, Ong XR and Slade EM (2021) Soil Ecosystems Change With Time. *Front. Young Minds*. 9:543498. doi: 10.3389/frym.2021.543498

CONFLITS D'INTÉRÊT: Les auteurs déclarent que ce document a été rédigé en l'absence de toute relation commerciale, personnelle ou financière qui pourrait être interprétée comme un conflit d'intérêts potentiel.

COPYRIGHT © 2021 Manning, Ong and Slade. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

JEUNES RELECTEURS

FDR-HB_PERU IGEM TEAM, EDAD: 14 – 17

We are a synthetic biology team with the international Genetically Engineered Machine (iGEM) in Lima, Peru. We are the only high school team in Latin America and are proud of our work with creating a detector for cadmium using bacteria. Most of us are second language learners and the age range of our group is 14–17 years old. We love GMOs!



AUTEURS

PAUL MANNING

Paul is a post-doctoral fellow at the Faculty of Agriculture at Dalhousie University. He holds a B.Sc. in agriculture from the Nova Scotia Agricultural College, and a D.Phil. in Zoology from the University of Oxford. He has been working on dung beetle ecology and toxicology since 2013. His research aims to understand how insect communities support ecosystem functions (like dung decomposition) in agricultural ecosystems. Paul is also interested in elevating public understanding and appreciation of insects through speaking to community groups, working with youth, and conducting research through participatory citizen science. *paul.manning@dal.ca



XIN RUI ONG

Xin Rui is a Ph.D. student at the Asian School of the Environment in Nanyang Technological University. She graduated from the National University of Singapore with a B.Sc. in Life Sciences, specializing in Environmental Biology. Xin Rui was first introduced to the fascinating world of dung beetles during her undergraduate years and is now studying the diversity of dung beetles and their interactions with mammal communities in Southeast Asia.



**ELEANOR M. SLADE**

Eleanor is an Assistant Professor at the Asian School of the Environment. She holds a B.Sc. in Zoology from the University of Leeds, a M.Sc. in Ecology from Aberdeen University, and a D.Phil. in Zoology from the University of Oxford. Eleanor is an ecologist whose research focuses on the conservation, management, and restoration of tropical forest landscapes and agricultural systems. She is particularly interested in invertebrates and has been studying dung beetles and their importance for healthy ecosystems for 17 years. Eleanor is also interested in using science to help inform policy and best practices in the oil palm industry.

TRADUCTEURS**CAMILA LEANDRO**

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive & Université Paul-Valéry
Montpellier 3

WILLIAM PERRIN

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive & Université Paul-Valéry
Montpellier 3