

Vie de la recherche – Research news

À propos du colloque « Pour une recherche et une innovation responsables » : une analyse aux niveaux macro, micro et méso

Sélim Louafi* 

Sciences politiques, CIRAD, UMR AGAP Institut, INRAE, Institut Agro Montpellier, Université de Montpellier, Montpellier, France

Résumé – Un colloque intitulé « Pour une recherche et une innovation responsables » s’est tenu le 15 janvier 2021. Organisé par un groupe de travail interinstitutionnel (universités, instituts de recherche, grandes écoles), il visait à réinterroger le rôle et les pratiques de la recherche. Les tables rondes couvraient des thèmes liés à la fois aux finalités sociétales de la recherche pour un meilleur alignement avec les défis du développement durable, aux défis concrets de la gestion de sites et des comportements individuels et collectifs pour diminuer le coût environnemental et sociétal de la conduite des travaux de recherche et enfin aux défis d’apprentissage et de gouvernance de la recherche et de l’innovation pour que les savoirs viennent accompagner des changements de pratiques à l’échelle de l’ensemble des acteurs concernés. Ce texte propose de relire cette conférence à la lumière d’une grille d’analyse macro/micro/méso qui offre un moyen d’appréhender les différents niveaux d’action qui ont été évoqués pendant cette conférence, parfois au sein d’une même table ronde. Le niveau macro a surtout été couvert dans les deux premières tables rondes qui ont fait émerger le constat que les normes globales qui désormais guident la recherche ont fortement évolué. Il a souvent été fait référence au niveau micro pour parler de la multiplication d’initiatives prises par les chercheurs, individuellement ou collectivement, pour diminuer l’impact de leurs recherches sur l’environnement. Le niveau méso est finalement celui qui a le plus occupé les débats avec une série d’instruments, d’outils et d’initiatives pris par différentes organisations pour essayer à l’échelle de collectifs plus larges, de prendre en charge certains défis, gérer d’éventuelles tensions entre injonctions contradictoires venant du niveau macro et ainsi aider à faire bouger les lignes et à engager davantage la recherche vers des pratiques responsables.

Mots-clés : recherche et innovation responsable / gouvernance de la recherche / développement durable / éthique de la recherche / politique de recherche / relations sciences-sociétés

Abstract – About the symposium ‘For a responsible research and innovation’: a macro, micro and meso level analysis. A symposium entitled ‘For a responsible research and innovation’ was held on January 15, 2021. Organized by an inter-institutional working group (universities, research institutes, Grandes Écoles), it aimed to reexamine the role and practices of research. The roundtables organized covered themes related to the societal goals of research for a better alignment with the challenges of sustainable development; to concrete challenges relating to the management of sites and changes in individual and collective behaviors to reduce the environmental and societal cost of conducting research; to the challenges of learning and governance of research and innovation to accompany changes in practices at the scale of all the actors involved. This report proposes to analyze this conference in the light of a macro/micro/meso grid that offers a means of apprehending the different levels that alternated within this conference, sometimes even within the same roundtable. The macro level was mainly covered in the first two roundtables and highlighted the fact that the global norms that now guide research have significantly evolved. Reference was often made to the micro level to talk about the multiplication of initiatives taken by researchers, individually or organized in groups, to reduce the impact of their research on the environment. The meso level is finally the one that has been the most covered in the debates, with a series of instruments, tools and initiatives taken by different organizations to try, at the scale of larger collectives, to take charge of certain challenges and to manage tensions between contradictory injunctions coming from the macro level in order to help move the lines and to commit research more towards responsible practices.

Keywords: responsible research and innovation / research governance / sustainable development / research ethics / science policy / science-society interface

*Auteur correspondant : selim.louafi@cirad.fr

La science est de plus en plus interpellée sur sa capacité à aider à répondre aux enjeux du développement durable, à apporter des solutions opérationnelles pour surmonter les crises actuelles et à ajuster ses propres pratiques de conduite des recherches afin d'en diminuer les coûts environnementaux et sociaux. Dans la suite des réflexions mises en place au sein de l'axe Recherche et innovation du Grenelle de l'environnement de 2007, un groupe de travail interinstitutionnel s'est mis en place depuis 2018, sous l'impulsion des réseaux d'établissements d'enseignement supérieur et de recherche¹ et des réseaux de professionnels de la qualité et du développement durable², pour promouvoir et qualifier une recherche et une innovation responsables. Ce groupe associe aussi bien universités, grandes écoles et organismes nationaux de recherche afin de: i) contribuer à la feuille de route nationale pour l'Agenda 2030 en développant une science au service des objectifs de développement durable (ODD) et en concevant des parcours et des dispositifs éducatifs autour des ODD; ii) contribuer à des mesures concrètes pour des services publics écoresponsables en mettant en œuvre des pratiques accélérant la transition écologique des services de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation (ESRI) dans leur fonctionnement et leurs missions; iii) créer une communauté apprenante de la recherche et de l'innovation autour de l'exercice de la responsabilité de l'ESRI en matière de transitions/transformations sociétales.

Le colloque intitulé « Pour une recherche et une innovation responsables³ », tenu le 15 janvier 2021, s'inscrit dans cette dynamique et a été organisé par ce groupe de travail pour réinterroger le rôle et les pratiques quotidiennes de la recherche. Les tables rondes couvraient des thèmes liés à la fois aux questionnements des finalités sociétales de la recherche (au contenu du savoir produit) pour un meilleur alignement avec les défis du développement durable, aux défis concrets de la gestion de sites et des comportements pour diminuer le coût environnemental et sociétal de la conduite des travaux de recherche et enfin aux défis d'apprentissage et de gouvernance de la recherche et de l'innovation pour que les savoirs viennent accompagner des changements de pratiques à l'échelle de l'ensemble des acteurs concernés.

¹ La Conférence des grandes écoles (CGE) et la Conférence des présidents d'université (CPU).

² Le Collectif pour l'intégration de la responsabilité sociétale et du développement durable dans l'enseignement supérieur (Cirses) et l'Association pour la qualité en recherche et enseignement supérieur (Quares).

³ Le programme du colloque est disponible sur le site suivant : <https://franceuniversites.fr/actualite/pour-une-recherche-et-une-innovation-responsables-le-colloque-du-15-janvier-pro-chain/>. L'intégralité des échanges peut être visionnée à l'adresse suivante : <https://www.youtube.com/watch?v=2um7UUFpfqs>.

Qu'est-ce que la recherche et l'innovation responsables ?

Au-delà des aspects liés au contexte particulier français (Grenelle de l'environnement, spécificité du paysage multi-institutionnel ESRI français), il est intéressant de replacer l'émergence du mouvement de la recherche et de l'innovation responsables qui remonte au début des années 2010 en Europe. Les interventions de Ghislaine Filliatreau (Institut national de la santé et de la recherche médicale [Inserm]), Celya Gruson-Daniel (Inno3) et Michel Puech (Sorbonne Université) au cours de l'excellente troisième table ronde de la journée ont bien aidé à clarifier ce que l'on entendait par responsabilité et à repositionner les enjeux dans un contexte plus large sur les plans académiques et politiques.

Michel Puech a notamment rappelé que cette discussion tenait place dans ce qu'il convient d'appeler le contexte post-normal de la science introduit par [Funtowicz et Ravetz \(1993\)](#), par référence à [Kuhn \(1970\)](#), marqué par 4 caractéristiques : 1) les faits sont incertains; 2) les valeurs sont multiples (pas de consensus) et pas forcément mises en débat; 3) les enjeux sont très élevés; 4) il faut décider tout de suite (urgence). La mise en évidence de ce contexte a été faite par de nombreux chercheurs au cours des dernières décennies et a donné une nouvelle impulsion au débat sur l'articulation entre science et société bien connu par les lecteurs de cette revue ([Latour, 1991](#); [Funtowicz et Ravetz, 1993](#); [Ravetz et Funtowicz, 1999](#); [Dedeurwaerdere, 2014](#)). Dans ce contexte, comme l'a rappelé Celya Gruson-Daniel, les cadres des « questions éthiques, juridiques et sociales » (ELSI [*ethical, legal and social implications*] en anglais), avec lesquels était habituellement pensée la responsabilité de la science, sont devenus obsolètes. Les approches ELSI tendent en effet à simplifier à l'excès le processus d'innovation et les interactions entre la science et la société en se concentrant sur les seules conséquences potentielles des innovations. La logique linéaire qui sous-tend ces approches renvoie à une science extérieure à la société et dont le seul objectif est de proposer des innovations dont il convient ensuite à la société de déterminer leur acceptabilité et de confier aux scientifiques la tâche de gérer les éventuels risques associés ([Macnaghten et al., 2016](#); [Balmer et al., 2015](#)).

Les impasses des approches ELSI pour le traitement des controverses sur les OGM à la fin des années 1990, qui allait au-delà des questions d'impacts sur la santé et l'environnement ([Helliwell et al., 2017](#)), ont montré les limites d'un tel modèle et le besoin de réfléchir aux questions de recherche et d'innovation responsables de manière bien plus large en créant des processus décisionnels plus inclusifs en amont même du processus d'innovation. Dans ce schéma, comme le note justement Michel Puech au cours du colloque, la responsabilité

n'est pas envisagée de manière rétroactive sous l'angle pénal mais plutôt sur le plan moral et éthique en anticipant ce que les recherches et innovations pourraient engendrer et en orientant en conséquence les pratiques de production de savoirs. Le mouvement de la recherche et de l'innovation responsables (RRI [*responsible research and innovation*] en anglais) reflète cette évolution qui s'est cristallisée en Europe à partir du début des années 2010 au sein du programme-cadre européen pour la recherche et le développement H2020. Le *Journal of Responsible Innovation* naît également en 2014⁴.

La RRI s'inscrit donc à la croisée des questions relatives à l'encadrement des nouvelles technologies et des réflexions sur l'éthique de la recherche telle que présentée par Ghislaine Filliatreau. Celle-ci a rappelé que l'éthique couvrait une analyse à la fois du contexte, des valeurs, des finalités et des conséquences d'une recherche que l'on se propose d'entreprendre, mais aussi de la façon de conduire la recherche elle-même. C'est donc une démarche réflexive et de rendu de compte que l'éthique se propose de conduire en poussant à remettre en question ses pratiques et le regard que l'extérieur porte sur ce que l'on fait.

Une analyse du colloque à partir d'une grille macro/micro/méso

Nous proposons de relire cette conférence à la lumière d'une grille macro/micro/méso d'analyse qui offre un moyen d'appréhender les différents niveaux d'action qui ont été évoqués pendant cette conférence, parfois au sein d'une même table ronde.

D'une manière générale, le niveau macro englobe les phénomènes sociaux globaux et les cadres juridiques et politiques opérant à l'échelle nationale, multinationale ou mondiale. Il s'agit notamment de cadres, d'accords et de politiques conçus pour fournir une orientation générale à de multiples acteurs, dont la recherche.

Le niveau micro désigne les normes, les règles et les comportements à l'échelle des individus et des équipes. Il saisit la pratique de la science et la construction des questions de recherche dans les laboratoires.

Le niveau méso décrit les phénomènes sociaux qui relient les interactions quotidiennes des individus au niveau micro avec les événements sociaux plus larges au niveau macro. Le niveau méso s'inscrit dans le cadre des orientations générales données au niveau macro, en acceptant ses objectifs et ses principes, mais en cherchant des solutions pratiques pour aborder des valeurs et des perspectives multiples, souvent conflictuelles, à un niveau micro.

Les unités d'analyse intervenant à ces niveaux peuvent varier. Dans le cadre des systèmes scientifiques, les unités peuvent inclure des chercheurs individuels, des équipes ou des réseaux scientifiques formels et informels, des organisations ou instituts scientifiques, des projets collaboratifs, consortiums ou autres initiatives multi-acteurs, des bailleurs, des administrateurs et des ministères en charge de la recherche.

Le niveau macro a surtout été couvert dans les deux premières tables rondes qui ont fait émerger le constat que les normes globales qui désormais guident la recherche ont bel et bien évolué. En particulier, les objectifs de développement durable (ODD) constituent un cadre de référence adopté de manière consensuelle et constituent une boussole désormais reconnue de l'action de la recherche et de l'innovation pour mieux répondre aux enjeux globaux tels que la sécurité alimentaire ou l'approche globale de la santé. En même temps, l'utilisation de ces ODD comme critère au sein d'organisations de financement comme l'Agence nationale de la recherche (ANR) ou d'évaluation comme le Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (HCERES), a montré leur caractère peu opérationnel, tant ils sont larges et finalement peu discriminants. Les participants ont aussi noté les possibles contradictions ou arbitrages entre ces ODD et le besoin de hiérarchisation que ce constat appelle. Les auditeurs ont interpellé les intervenants sur le fait que beaucoup de recherches continuent malgré tout à être en contradiction avec les ODD. Au final, ce débat a fait ressortir le fait que le clivage entre recherche fondamentale et recherche appliquée, pourtant remis sur le tapis à plusieurs reprises par les participants, est sans doute peu utile pour décrire les dynamiques en cours et qu'il convient plutôt, dans le sillage de Heather Douglas (2009), de se référer à un triptyque entre recherche disciplinaire, recherche d'intérêt public et recherche d'intérêt privé. Cette dernière, en appui aux agents économiques porteurs d'intérêts bien délimités à court et à moyen terme (comme l'exploitation d'une ressource naturelle), a pris une ampleur considérable par rapport à des acteurs locaux (ou du tiers-secteur) aux intérêts multiples et encore peu ou mal fédérés ainsi qu'à des acteurs publics mal organisés et, parfois, instables (Maesschalck, 2013).

Il a été aussi question du niveau macro en référence aux cadres éthiques et déontologiques qui encadrent la pratique de la recherche. C'est le cas en particulier du thème très présent de la science ouverte associé à la propriété, à l'accessibilité des données et au contrôle de l'exploitation des résultats de recherche.

Enfin, la question des stratégies de responsabilité sociale des organisations (RSO) est également revenue de manière importante dans les discussions. Cette RSO ne concerne pas les orientations normatives en matière de production de savoirs par la recherche mais son fonctionnement même.

⁴ <https://www.tandfonline.com/journals/tjri20>.

La RSO se focalise sur l'impact des pratiques de recherche sur l'environnement et sur les attentes sociétales en matière d'égalité professionnelle, de formation continue ou de précarité de l'emploi. Ces sujets sont ceux où le niveau macro a été perçu comme à la traîne par rapport à des initiatives portées au niveau micro.

Il a souvent été fait référence à ce niveau micro justement pour parler de la multiplication d'initiatives prises par les chercheurs, individuellement ou collectivement, pour diminuer l'impact de leurs recherches sur l'environnement, que ce soit en matière de gestion des déchets, d'organisation des expérimentations, de limitation de l'impact des pratiques numériques ou encore de diminution des transports internationaux ou domicile-travail. Labo 1point5⁵ est revenu plusieurs fois au cours des échanges comme l'exemple d'un collectif à l'avant-garde qui a su mettre ces questions à l'agenda en s'autoorganisant à l'échelle d'individus ou de collectifs au sein des établissements de recherche et d'enseignement. Toujours au niveau micro, il paraît également intéressant de citer les initiatives d'étudiants dans les écoles d'ingénieurs qui ont bousculé les cadres habituels des formations dispensées et ont poussé à une refonte du contenu et des modalités de certains enseignements comme l'a évoqué Laurent Champaney, vice-président de la Conférence des grandes écoles (CGE) lors de la première table ronde.

Enfin, il convient également de noter le témoignage offert par André Estevez-Torres, chimiste et physicien au CNRS qui, suite aux marches pour le climat de 2018, s'interroge sur le contenu ultra-pointu de ses propres recherches et de leurs finalités. Cela le conduit à essayer de redonner un sens à son travail en s'engageant dans le collectif Ecopolien (atelier d'écologie politique francilien⁶) qui cherche à créer du lien entre les disciplines et fait de la médiation sur les controverses sciences-sociétés autour des questions écologiques en organisant des conférences-débats avec le grand public et en rédigeant des articles d'opinion.

Le niveau méso est finalement celui qui a le plus occupé les débats avec une série d'instruments, d'outils et d'initiatives pris par différentes organisations pour essayer à l'échelle de collectifs plus larges de prendre en charge certains défis, de gérer d'éventuelles tensions entre injonctions contradictoires venant du niveau macro et ainsi aider à faire bouger les lignes et à engager davantage la recherche vers des pratiques responsables.

Ainsi, le cadre très complet présenté par Marie-Christine Baietto, directrice de la recherche de l'Insa Lyon, couvrant à la fois la recherche, la formation et la gestion de site au sein de son établissement, montre une réelle volonté de porter le changement à un niveau institutionnel. La structuration de champs thématiques par enjeux globaux en référence directe aux ODD ouvre

la voie à un fonctionnement de la recherche plus interdisciplinaire (matérialisé en particulier dans certains contrats doctoraux) en même temps qu'une évolution profonde de la formation dispensée. De manière sans doute encore plus originale, cette nouvelle orientation a également conduit à mettre en place des dispositifs appelés « alliances », centrées sur des enjeux à fort impact sociétal et basées sur des nouvelles formes de partenariat de recherche avec des associations (par exemple, Alliance sur la qualité de l'air).

C'est un dispositif un peu similaire que l'on observe avec la chaire de recherche et d'enseignement « Territoires en transition » mise en place à Grenoble École de management par Thibault Daudigeos, et qui réunit entreprises privées, collectivités publiques et associations pour travailler sur les sujets de transitions du territoire. De manière intéressante, Thibault Daudigeos présente ce dispositif en se référant à la littérature sur les organisations frontières (*boundary organizations*) popularisées dans les années 2000 par David Guston (2001) ou encore Clark Miller (2001). Cette chaire se pense notamment à l'interface entre le monde des chercheurs et celui des parties prenantes pour construire un diagnostic partagé sur les enjeux de territoire et gérer les tensions entre connaissances spécialisées et connaissances pour l'action ou encore les différences de temporalité entre recherche et action.

Dans un autre ordre d'idée, des mécanismes d'évaluation des impacts de la recherche ont été mis en place au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad). Sylvain Perret, directeur du département Environnement et sociétés, a présenté la méthodologie (méthode ImpresS⁷). S'appuyant sur une équipe dédiée au sein de l'établissement à la frontière entre recherche et gestion de projet, cette approche a été développée pour favoriser la réflexivité des équipes de recherche sur la contribution de la recherche à des impacts sociétaux, mieux positionner le rôle de la recherche, engager de nouvelles formes d'interactions avec les partenaires concernés et accompagner les changements de pratiques qu'appellent les transitions vers la durabilité.

Enfin, avec les contributions de Gaell Mainguy, directeur du développement et des relations internationales du Centre de recherches interdisciplinaires, de Lucile Ottolini, présidente des Petits Débrouillards région Est, ou encore de Romain Julliard, directeur de l'unité de service Méthodes et outils pour les sciences participatives au Muséum national d'histoire naturelle, c'est surtout la mise en lumière du tiers-secteur de la recherche qui ressort de la dernière table ronde intitulée « Interactions science/société ». À travers des initiatives portées à diverses échelles avec des publics cibles différents, ces trois intervenants mettent le doigt sur un angle mort de beaucoup de discussions restées soit au niveau micro soit au niveau

⁵ <https://labos1point5.org>.

⁶ <https://ecopolien.hypotheses.org>.

⁷ <https://impres-impact-recherche.cirad.fr>.

macro, à savoir la nécessaire transformation des conditions de production de connaissances en s'ouvrant à d'autres formes de savoirs et en favorisant de nouvelles formes d'action collective avec une gamme élargie de partenaires. Ainsi, en contrepoint des injonctions de science ouverte venues du niveau macro, Romain Julliard montre que, dans son initiative de science participative consistant à documenter l'état de la biodiversité en s'appuyant sur une large gamme d'acteurs (réseaux naturalistes, grand public, enseignants, jardiniers des espaces verts, agriculteurs...), le partage des données entre participants est un moteur essentiel non seulement pour garantir la qualité des données produites mais aussi pour construire des nouvelles formes de délibération et d'administration des données qui vont constituer des communautés de pratiques susceptibles de bouleverser celles habituellement en œuvre dans la recherche en matière de collecte et de gestion des données.

À travers les enjeux de gouvernance d'une recherche collaborative « en train de se faire », ces initiatives mettent l'accent, pour tendre vers une recherche et une innovation réellement responsables, sur la nécessité de créer les conditions d'un contexte favorable à la production et à l'accroissement des savoirs par les acteurs concernés afin d'être en mesure de modifier les rapports de pouvoir qui bloquent les évolutions nécessaires aux changements voulus. Accumuler des nouvelles connaissances sur la résolution des problèmes est certainement essentiel mais cela doit également s'accompagner d'une réflexion au sein même du groupe d'acteurs concerné sur les conditions qui rendent possibles les collaborations nécessaires à leur résolution. Tant que la science ne concevra sa contribution aux processus de décision collective sur les questions de transitions que sous la forme d'un éclairage des enjeux substantiels/techniques (*evidence-based policy*) sans s'interroger sur les conditions de production de ces connaissances (combinaison des savoirs disciplinaires et refus de la dichotomie entre connaissances et pratiques) et surtout sans travailler le lien entre les modalités de construction de ces savoirs et les changements de pratiques qu'induisent ou que sont censés induire ces savoirs (refus de la dichotomie entre production et utilisation des connaissances), son influence restera nécessairement limitée pour orienter le changement vers la durabilité.

Au final, ce colloque, qui date de presque deux ans et qui a été très fortement suivi, a fait naître une nouvelle dynamique collective sur les enjeux socioécologiques de la recherche : ainsi, une série de webinaires mensuels « Mon laboratoire comme acteur de la soutenabilité et de la responsabilité sociétale » se tient depuis février 2022 afin

de partager les expériences des laboratoires, de croiser les apprentissages sur les leviers d'actions et d'identifier de nouveaux besoins selon les contextes professionnels concernés.

Références

- Balmer A.S., Calvert J., Marris C., Molyneux-Hodgson S., Frow E., Kearnes M., Bulpin K., Schyfter P., MacKenzie A., Martin P., 2015. Taking roles in interdisciplinary collaborations: reflections on working in post-ELSI spaces in the UK synthetic biology community, *Science and Technology Studies*, 28, 3, 3-25, <https://doi.org/10.23987/sts.55340>.
- Dedeurwaerdere T., 2014. *Sustainability science for strong sustainability*, Cheltenham/Northampton, Edward Elgar Publishing.
- Douglas H., 2009. *Science, policy, and the value-free ideal*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
- Funtowicz S.O., Ravetz J.R., 1993. Science for the post-normal age, *Futures*, 25, 7, 739-755, [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90022-L](https://doi.org/10.1016/0016-3287(93)90022-L).
- Guston D.H., 2001. Boundary organizations in environmental policy and science: an introduction, *Science, Technology, & Human Values*, 26, 4, 399-408, <https://doi.org/10.1177/2F016224390102600401>.
- Helliwell R., Hartley S., Pearce W., O'Neill L., 2017. Why are NGOs sceptical of genome editing? NGOs' opposition to agricultural biotechnologies is rooted in scepticism about the framing of problems and solutions, rather than just emotion and dogma, *EMBO Reports*, 18, 12, 2090-2093, <https://doi.org/10.15252/embr.201744385>.
- Kuhn T.S., 1970 [1^{re} éd. 1962]. *The structure of scientific revolutions*, Chicago, University of Chicago Press.
- Latour B., 1991. *Nous n'avons jamais été modernes. Essai d'anthropologie symétrique*, Paris, La Découverte.
- Macnaghten P., Owen R., Jackson R., 2016. Synthetic biology and the prospects for responsible innovation, *Essays in Biochemistry*, 60, 4, 347-355, <https://doi.org/10.1042/EBC20160048>.
- Maesschalck M., 2013. L'éthique de l'aide publique au développement au prisme des réorientations stratégiques des partenariats institutionnels sur le terrain, *Éthique publique. Revue internationale d'éthique sociétale et gouvernementale*, 15, 2, <https://doi.org/10.4000/ethiquepublique.1220>.
- Miller C., 2001. Hybrid management: boundary organizations, science policy, and environmental governance in the climate regime, *Science, Technology, & Human Values*, 26, 4, 478-500, <https://doi.org/10.1177/2F016224390102600405>.
- Ravetz J., Funtowicz S., 1999. Post-normal science – an insight now maturing, *Futures*, 31, 7, 641-646, [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(99\)00023-3](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(99)00023-3).

Citation de l'article : Louafi S. À propos du colloque « Pour une recherche et une innovation responsables » : une analyse aux niveaux macro, micro et méso. *Nat. Sci. Soc.*, <https://doi.org/10.1051/nss/2022029>