



**LES PROSPECTIVES DE L'INEE**  
**12-14 octobre 2022**  
**La Rochelle**

## **PRESENTATION DES ATELIERS**

### **QU'EST-CE QUE LE VIVANT ?**

#### **Co-Animateur-Animatrice :**

- Jean-Michel Drezen (IRBI - UMR 7261, Tours)
- Purificacion Lopez-Garcia (ESE - UMR 8079, Orsay)

**Participants confirmés :** Sébastien Dutreuil (UMR 7304, Aix - Marseille), Mart Krupovic (Institut Pasteur, Paris), Philippe Nghé (ESPI, Paris), Denis Roze (UMR 7144, Roscoff)

Alors que c'est l'objet d'étude de la discipline, la biologie n'a pas une définition arrêtée du vivant (ou de la vie). Or, au-delà des aspects philosophiques et épistémologiques historiquement liés à cette question et à l'exercice de définition en soi, formuler une définition scientifique pragmatique, opérationnelle, du vivant semble nécessaire. En effet, les nouvelles connaissances sur la biodiversité, notamment microbienne, la reconstruction de l'arbre phylogénétique du vivant, une meilleure connaissance du registre fossile ancien et l'inférence d'un dernier ancêtre commun universel nous rapprochent des débuts de l'évolution biologique. D'autre part, des données d'autres disciplines et, en particulier, de la chimie prébiotique et la chimie et la biologie de systèmes nous rapprochent de l'origine de la vie à partir des briques élémentaires et de la cellule minimale. Quand est-ce qu'un système chimique complexe devient un système biologique ? Quand et comment les premiers systèmes vivants apparaissent sur Terre ? Comment reconnaître, si elle existe, la vie ailleurs dans l'univers ? Quelles sont les propriétés essentielles des systèmes vivants ? Si, pour le biologiste, une propriété cruciale est la capacité à se reproduire et à évoluer en produisant des copies (presque) conformes à l'original sur lesquelles opère la sélection naturelle grâce à un système d'information génétique codée, pour physiciens et biochimistes, la capacité à transformer de l'énergie et de la matière pour maintenir un ordre à contrecourant de l'équilibre thermodynamique est tout aussi fondamentale. La cellule est souvent considérée l'unité fondamentale du vivant car elle possède les deux capacités ; quid des virus et d'autres parasites moléculaires ? Quel est leur origine ? Peut-on déterminer un ordre d'émergence relative de ces propriétés dans le contexte environnemental de la Terre primitive ? Quel est l'origine du code génétique qui lie le message codé à la fonction exprimée ? Quelle est la part du déterminisme et de la chance dans ces processus ? L'origine de la vie est celui des mécanismes de l'évolution (darwinienne), de la biodiversité et des grandes transitions évolutives

ultérieures (origine des eucaryotes et des diverses multicellularités). Mais c'est aussi celui des écosystèmes, des systèmes biologiques qui interagissent entre eux mais aussi avec la composante inerte de la planète à travers les cycles biogéochimiques. Dans ce contexte, cet atelier de prospectives tentera d'aborder et de clarifier ces questions très fondamentales.

**Objectifs :** Analyser les définitions et propriétés essentielles du vivant selon différents points de vue et établir une définition opérationnelle qui délimite quand un système chimique devient biologique. On pourra aborder toutes les méthodes et modèles qui permettent d'appréhender les origines du vivant comme transition évolutive majeure et retracer son (ses) histoire(s).

**CS INEE :** Philippe Jarne, Geneviève Prévost

**CNRS-INEE :** Agnès Mignot

## SEXE, GENRE, ESPECE ET EVOLUTION

### Co-Animateurs-Animatrices :

- Raphaëlle Chaix (EA – UMR 7206, Paris)
- Mathilde Dufay (CEFE – UMR 5175, Montpellier)
- Gabriel Marais (LBBE – UMR 5558, Villeurbanne)
- Sébastien Villotte (PACEA – UMR 5199 Bordeaux)

La reproduction sexuée et l'ensemble de ses manifestations sont très étudiés depuis les débuts de la biologie évolutive. Dans notre espèce, les travaux sur la question mobilisent à la fois les biologistes et les sciences humaines. Nous allons nous concentrer dans cet atelier sur les développements nouveaux et essayer d'anticiper quelle sera la recherche future dans ce domaine.

Pendant la dernière décennie, les connaissances sur la détermination du sexe et son évolution ont beaucoup progressé. Les chromosomes Y (et W) sont restés en dehors de la 1<sup>ère</sup> phase de la révolution génomique à cause de blocages techniques et méthodologiques. Avec les NGS et le développement de nouvelles méthodes bioinformatiques, ces blocages ont été levés et l'étude des chromosomes sexuels s'est fortement accélérée, notamment dans des groupes où ils étaient très mal connus (amphibiens, plantes, poissons, reptiles). Ces avancées permettent à la fois de comprendre comment les sexes sont déterminés dans le vivant et comment l'évolution de ces mécanismes s'est faite. Elles permettent également d'envisager d'inclure les chromosomes sexuels aux grandes synthèses sur l'évolution des génomes qui ont suivi la révolution génomique. Une vision exhaustive de la détermination du sexe dans le vivant peut également servir d'outil, par exemple pour tenter de prédire l'impact de changements environnementaux sur la reproduction des espèces.

Un intérêt particulier sera porté aux interactions entre facteurs génétiques, environnementaux et sociaux-culturels influençant les différences phénotypiques et comportementales mâles-femelles. Ces interactions pourront être étudiées sur le temps long de l'évolution (eg sélection sexuelle et sélection sexuellement antagoniste, des mécanismes ayant des fonctionnements en partie comparables entre phyllums très différents comme les plantes et les animaux, vertébrés comme invertébrés), mais aussi à l'échelle de la vie de l'individu. De nouvelles recherches mettent ainsi en lumière l'influence des facteurs environnementaux et socio-culturels sur l'expression de gènes modulant les différences phénotypiques et comportementales mâles-femelles, notamment via des mécanismes épigénétiques (instinct maternel par exemple). L'étude de ces interactions permettra une meilleure compréhension de la plasticité du sexe et du dimorphisme sexuel en fonction du contexte environnemental et/ou socio-culturel, et ainsi de s'extraire des oppositions simplistes entre nature et culture dans les débats sur le déterminisme du sexe et du genre. Ces études pourront également nous informer sur les facteurs expliquant l'évolution actuelle de la santé reproductive dans les populations humaines (augmentation des individus intersexués, baisse du nombre de spermatozoïdes chez les hommes, etc...), ainsi que sur les différences de vieillissement et longévité entre hommes et femmes.

L'archéologie française intègre désormais les études de genre dans ses problématiques. L'évolution de rapports de genre dans le temps et l'espace fait ainsi l'objet d'un nombre grandissant d'études, notamment grâce à l'essor de l'ADN ancien. La confrontation des données génétiques,

anthropobiologiques et archéologiques permet de documenter certains faits sociaux spécifiques aux hommes et aux femmes (divisions des tâches, systèmes de parenté, mobilité, etc...) dans les populations du passé et d'en discuter les dynamiques. Ces travaux favorisent le développement d'une approche multidisciplinaire biologie / SHS, nécessaire mais trop rare sur ces questions, et veillent à sortir des discours androcentrés (« man the hunter »...). Des données issues de la primatologie et de l'éthologie apportent également de nouvelles informations sur l'origine évolutive de ces traits sociaux liés au sexe. Ces études permettront de développer une vision holistique sur la question sexe/genre et de tester grâce à ces nouvelles données des hypothèses anthropologiques classiques (origines des divisions du travail, de la patrilocalité, de la famille nucléaire, de la monogamie, de la domination masculine, etc...).

L'intérêt pour les questions relatives au sexe, au genre et à la sexualité (notamment leurs définitions, variations et interactions) s'est accru considérablement dans les dernières années et celles-ci représentent actuellement des enjeux sociétaux extrêmement importants. Il en découle que sur ces sujets, les relations entre sciences, technologies, et société sont complexes : les données scientifiques alimentent le débat public, l'orientation des politiques de recherche évoluent en fonction de ce débat, les avancées techniques, notamment médicales, soulèvent régulièrement de nouvelles questions au sein de la société, etc...

**CS INEE** : Bruno Maureille, Evelyne Heyer, Patricia Gibert

**CNRS-INEE** : Dominique Joly, Fabienne Aujard, Stéphane Blanc

## LE PASSE (DE LA DIZAINE AU MILLIARD D'ANNEES) AU SERVICE DU PRESENT ET DU FUTUR

### Co-Animateurs-Animatrice :

- Thomas Servais (Evo-Eco-Paléo – UMR 8198 Villeneuve d'Asq)
- Antoine Souron (PACEA – UMR 5199 Bordeaux)
- Boris Vanniere (Chrono-Environnement – UMR 6249 Besançon)
- Charline Giguet (EDYTEM – UMR 5204, Le Bourget du Lac)

Nos comportements, réflexions, et actions en tant qu'humains sont guidés et influencés par les histoires et récits du passé. Dans le contexte actuel de défis environnementaux, climatiques, et sociaux sans précédent, notre mémoire du passé n'est pas assez lointaine et pas assez riche des expériences vécues par la nature et les sociétés.

Peut-on concevoir un avenir sans expériences et sans mémoire du passé? En s'attachant à comprendre les écosystèmes, les interactions complexes entre leurs nombreux constituants, et leurs changements sur des échelles de temps longues (depuis l'origine de la vie jusqu'au présent), les sciences du passé (géologie, paléontologie, écologie, paléoécologie, archéologie, histoire) représentent des sources essentielles pour comprendre le temps passé et ainsi informer le présent et le futur.

Si la mémoire est un trésor à partager, c'est aussi une arme qui peut être manipulée. Les scientifiques, une fois de plus, peuvent faire le lien et créer du sens dans ces expériences passées pour éviter les pièges de l'ignorance face aux risques non assumés dans nos sociétés modernes. L'exploration du passé est également une invitation à développer la curiosité et la modestie au regard d'une compréhension plus nuancée des similarités entre l'humain et le reste du monde vivant en termes d'interactions biologiques.

Notre atelier invite à une réflexion fondamentale mais aussi appliquée sur l'usage du "passé", non seulement d'un point de vue narratif mais également comme outil de la démarche scientifique car il ouvre à des temporalités et des échelles de temps uniques pour appréhender les processus écosystémiques, les boucles de rétroactions qui gouvernent le système Terre, et les interactions sociétés-environnements.

Comment appréhender/documenter au mieux le passé? Comment maîtriser et décomposer les processus et trajectoires suivant des échelles temporelles différenciées? Comment combler le fossé entre l'actuel et ses enjeux, et les expériences passées?

Pour aller plus loin dans cette réflexion, sur la base de vos retours et propositions à venir, nous établirons une liste de questions à débattre autour du thème de "*la mémoire des écosystèmes dans la société : comment le passé peut être au service du présent et du futur*" lors des perspectives CNRS-INEE 2021. Nous invitons chacun d'entre vous à venir partager votre expérience du "temps\*" comme une des grandes questions en écologie et évolution, devant être aujourd'hui mise en avant comme une réponse à la précipitation qui nous guette face au changement global en cours.

\*La mythologie grecque identifie 3 temporalités différentes: Chronos incarne le temps qui défile de manière linéaire, il fait écho à des tendances sur le long terme (impossible à percevoir sans étude du passé) ; Aiôn représente le temps qui se répète tel que celui des saisons et à long terme les cycles de Milankovitch par exemple ; Kairos incarne « l'inattendue », c'est-à-dire un basculement avec un "avant" et un "après", il rappelle les concepts de "tipping points", transitions critiques et d'événements extrêmes qui interviennent avec des fréquences variables souvent hors de portée des observations courantes et seulement accessibles par des reconstructions du passé. Chacune de ces temporalités, nous met d'une manière particulière face au défi de la prédiction.

**CS INEE** : Bruno Maureille, Jean Nicolas Haas

**CNRS-INEE** : Françoise Gourmelon

## MICRO- ET MACROEVOLUTION : COMMENT L'UNE PEUT ECLAIRER L'AUTRE ?

### Co-Animateurs-Animatrice :

- Sylvain Glemin (ECOBIO, UMR 6553, Rennes)
- Hélène Morlon (IBENS, UMR 8197, Paris)
- Bert Van Bocxlaer (EEP, UMR 8198, Lille)

Les processus macroévolutifs de spéciation, d'extinction, et d'évolution des traits des espèces reposent sur des mécanismes microévolutifs à l'échelle populationnelle, à la fois génétiques et démographiques, dans un contexte écologique donné : dynamique de l'adaptation, isolement reproducteur, dispersion, expansion ou réduction des populations, coexistence ou exclusion d'espèces. Réciproquement, les dynamiques macro-évolutives conditionnent les dynamiques écologiques et évolutives actuelles, par exemple en déterminant le pool régional d'espèces ainsi que leurs traits, ou encore en modifiant les conditions environnementales via la création de nouvelles opportunités écologiques ou la modification des niches existantes.

Les deux échelles micro- et macroévolutive ont longtemps été étudiées par des approches différentes : la macroévolution s'appuie sur des méthodes comparatives et des analyses de diversification, à partir de bases de données sur un très grands nombres d'espèces actuelles ou fossiles, avec peu de détail des mécanismes opérant au sein de chaque espèce ; la microévolution s'appuie sur des analyses fines et approfondies à partir de suivis de terrain, de larges échantillonnages intra-spécifiques, ou encore d'expérimentations, mais seulement sur une ou quelques espèces. La formalisation de ces deux approches fait aussi appel à des corpus théoriques et à des outils différents : modèles de diversification et d'évolution des phénotypes à l'échelle des lignées d'espèces vs génétique et dynamique des populations.

Cet atelier vise à réfléchir aux interactions entre ces deux échelles d'étude, de façon à faire émerger une vision plus intégrée des processus évolutifs pour une meilleure compréhension des patrons de biodiversité. Le défi est à la fois conceptuel et pratique. Comment intégrer les différentes échelles temporelles ? Par exemple, peut-on obtenir des prédictions théoriques à l'échelle macroévolutive à partir de modèles micro-évolutifs ? Ces prédictions collent-elles aux données macroévolutives ? Quels sont les processus microévolutifs qui laissent un signal à l'échelle macroévolutive ? Les paramètres que l'on peut estimer à l'échelle macroévolutive (ex vitesse d'évolution des niches) sont-ils utiles pour prédire la microévolution (ex capacités d'adaptation des espèces) ? Comment prendre en compte les rétroactions des patrons émergents sur les processus élémentaires, le tout dans un cadre historique et phylogénétique ? D'un point de vue pratique, peut-on « passer à l'échelle » dans l'étude des mécanismes micro-évolutifs ? Par exemple des approches micro-évolutives comparatives à grande échelle ? Ceci ne pourra sans doute passer que par des efforts collaboratifs importants. En parallèle du développement croissant des bases de données de plus en plus standardisées permettant les analyses comparatives à grande échelle, une meilleure standardisation des études empiriques pourrait aussi être une voie à suivre.

**CS INEE** : Frédérique Viard, Geneviève Prévost

**CNRS-INEE** : Dominique Joly

## A LA FRONTIERE ENTRE ECOLOGIE ET EVOLUTION

### Co-Animateur-Animatrice :

- Emanuel Fronhofer (ISEM-UMR5554, Montpellier)
- Sara Puijalon (LEHNA-UR5023, Villeurbanne)

La volonté d'intégration et de liens plus profonds entre écologie et évolution n'est pas nouvelle, comme le rapportent des travaux en épistémologie (par ex., Huneman 2019) et des travaux théoriques (par ex., Govaert et al. 2019). Cependant, cette volonté s'est réaffirmée depuis le début des années 2000 et a vu monter en puissance des travaux mêlant explicitement écologie et évolution (Bassar et al. 2021). On peut tenter de catégoriser les travaux actuels « à la frontière entre écologie et évolution » selon trois approches développées, que cela soit dans une perspective de recherche fondamentale ou de gestion de la biodiversité. Ce sont soit : (i) des approches souvent « espèces-centrées » développées par des évolutionnistes qui introduisent des paramètres de l'environnement dans leurs études (par ex., Hendry 2017, Lion 2018) ; (ii) des approches développées par des écologues qui considèrent l'impact (ou les mécanismes) évolutif sur les communautés biologiques (par ex., Leibold & Chase 2018, McPeck 2018) ou les écosystèmes (par ex., Loreau 2010) et enfin (iii) des approches intégratives, probablement plus rares, dans lesquelles les dynamiques écologiques et évolutives sont couplées par des rétroactions réciproques.

L'atelier des perspectives de l'INEE "A la frontière entre écologie et évolution" a pour objectif de conduire une réflexion sur ces sujets pour faire un point sur l'avancement de la recherche en "éco-évolution" en France et à l'international. Cette réflexion est importante car, actuellement, cette recherche souffre d'une stase après une première phase centrée sur l'affirmation de l'existence de rétroactions entre écologie et évolution. Il semble important d'avancer vers une véritable intégration et un traitement plus quantitatif. Cette réflexion a aussi pour objectif de conduire à définir des axes de recherche pertinents et novateurs pour développer la recherche en éco-évolution dans les années à venir.

**CS INEE :** Philippe Jarne, Frédérique Viard

**CNRS-INEE :** Gilles Pinay, Gudrun Bornette

### Références:

- Bassar et al. (2021) Ecol. Lett. 24: 623-625
- Govaert et al. (2019) Funct. Ecol 33: 13-30.
- Hendry (2017) Eco-evolutionary dynamics. PUP.
- Huneman (2019) J. Hist. Biol. 52: 635-686.
- Leibold & Chase (2018) Metacommunity Ecology. PUP.
- Lion (2018) Am. Nat. 191: 21-44.
- Loreau (2010) From Populations to Ecosystems. PUP.
- McPeck (2018) Evolutionary Community Ecology. PUP.



## EROSION DE LA BIODIVERSITE : DE LA PERCEPTION A L'ACTION

### Co-Animateur-Animatrices :

- Caroline Hibold (IPHC – UMR 7178, Strasbourg)
- Hervé Jactel (Biogeco – UMR 1202, Cestas)
- Emmanuelle Porcher (CESCO, UMR 7204, Paris)

La question de l'état de la biodiversité, dans toutes ses composantes (génétique, taxinomique, fonctionnelle, phylogénétique...), mais surtout de son déclin, animent les débats tant sur la scène publique que dans la communauté scientifique. Par ailleurs, la montée en puissance des objectifs de développement durable et des solutions fondées sur la nature offre un cadre propice aux réflexions sur la caractérisation et la conservation de la biodiversité. Ceci doit nous pousser à réfléchir sur la perception de la biodiversité et son érosion, sur les leviers à mettre en action afin d'en assurer la préservation, ainsi que sur les solutions écologiques pour améliorer la résilience des systèmes qui pourraient s'appuyer sur des composantes de la biodiversité.

Cet atelier s'articule donc autour de questionnements sur les facettes de la biodiversité, à travers lesquels se dessinent les notions de réseaux d'interactions, de fonctions dans les écosystèmes et de services écosystémiques pour le bien-être humain. Il doit également interroger la relation entre concepts de « Nature » et de « Biodiversité », et plus largement les différentes valeurs de la biodiversité (intrinsèque, instrumentale, valeur d'option, relationnelle etc.). Il concerne l'identification des facteurs de pression, et notamment leurs effets en cascade, mais aussi les méthodes de remédiation.

Pour alimenter le débat et nous aider à préparer les réflexions collectives sur ce sujet, nous vous invitons à contribuer à l'identification de questions scientifiques se situant sur les fronts de science, ainsi que des méthodes d'investigation innovantes (ex. expérimentations systèmes, sites ateliers, capteurs, metabarcoding etc.), en les inscrivant dans la grille matricielle ci-dessous, qui reprend cinq grandes thématiques de recherche, en donnant quelques exemples à titre indicatif.

**CS INEE** : Frédérique Viard

**CNRS-INEE** : Dominique Joly, Agnès Mignot, David Giron

## POLLUTIONS ET ECOSYSTEMES

### Co-Animatrices :

- Clémentine Fritsch (Chronoenvironnement-UMR6249, Besançon)
- Aurélie Cébron (LIEC-UMR7360, Nancy)
- Ika Paul Pont (LEMAR-UMR6539, Brest)
- Pierre Labadie (EPOC-UMR5805, Talence)

Les changements globaux d'origine anthropique exercent une pression de plus en plus forte sur nos écosystèmes terrestres et aquatiques. On voit ainsi l'émergence de « nouveaux » contaminants générant de nouveaux risques, alors que certains contaminants plus « historiques » font l'objet d'approches renouvelées qui mettent en évidence la complexité des interactions écosystémiques. L'implémentation de nouvelles stratégies holistiques et transdisciplinaires permettant de procéder à des transferts d'échelles sont indispensables à la compréhension de la résilience de nos écosystèmes. Au sein du large panel de questions émergentes et de nouveaux enjeux, 4 thèmes majeurs ont été identifiés pour animer les échanges au sein de cet atelier :

- Bien que largement associé à la santé humaine, des réflexions sont en cours sur l'intégration du concept d'exposome pour la biocénose, tout droit dans le sillage du concept de "One Health" qui décrit l'interdépendance entre la santé humaine, animale et environnementale. Ces concepts sont essentiels pour appréhender la réponse des organismes face aux stress multiples (e.g. changements globaux, contaminants, maladies) ainsi que les répercussions inter-espèces et écosystémiques qui en découlent. Afin de lever les barrières interdisciplinaires et les verrous méthodologiques concernant la mesure de l'exposome, des pistes de réflexion visent à renforcer le couplage entre observation in situ, expérimentation et modélisation en impliquant des approches à différentes échelles spatiales et temporelles.
- Les changements globaux induisent des modifications de la biodiversité bouleversant les interactions entre espèces et les réseaux trophiques et les mécanismes pouvant favoriser l'émergence d'espèces nuisibles (pathogènes, d'espèces invasives, de microorganismes résistants aux biocides, de virus) ou au contraire une biodiversité originale encore inexploree pouvant être intéressante dans les dimensions de bioremédiation, biotechnologie ou biomédicale. En considérant les organismes comme des holobiontes, les approches en écotoxicologie microbienne basées sur les traits d'effet et de réponse au niveau des communautés et les changements de trajectoire des diverses communautés d'organismes sont intéressantes en écotoxicologie pour passer de l'individu aux communautés et ainsi identifier les facteurs de forçage affectant les écosystèmes.
- Les écosystèmes ne sont pas indépendants mais connectés entre eux (concept de méta-écosystème) par des flux spatiaux d'énergie, de matière, d'organismes et de contaminants. Les changements globaux impliquent d'étendre l'étude des processus d'échanges entre les milieux (sol-eau-atmosphère) et dans des conditions climatiques en évolution, pour comprendre et prédire leurs effets sur la dynamique des contaminants et le transfert de microorganismes. Pour l'évaluation des risques et des réponses des écosystèmes aux perturbations, le développement de bioindicateurs communs trans-écosystèmes, visant à

évaluer les flux de contaminants et les connexions inter- et trans-écosystèmes, représente probablement une piste prometteuse pour les observations sur le long-terme.

- Les interactions entre sciences et la société bien que très plébiscitées restent trop peu développées en écotoxicologie. Elles concernent des solutions de remédiation des écosystèmes basées sur un meilleur transfert des connaissances vers la société civile (décisionnaires, industriels, grand public) associé au développement de l'ingénierie écologique, et des actions de médiation scientifique et sciences participatives. Toutefois, le rôle que joue la société sur les avancées scientifiques reste souvent méconnu ou sous-évalué. Perception du risque, comportements individuels et collectifs, évolution des réglementations, intégration du socio-écosystème; pour mieux comprendre les enjeux sous-jacents à la préservation de nos environnements et l'émergence de solutions, l'apport des sciences humaines et sociales et leur couplage avec l'écotoxicologie sera au centre des réflexions.

Quels sont les freins pour le développement de ces thématiques ? Quels paradigmes doivent être renouvelés pour enrichir la réflexion sur les réponses des écosystèmes aux perturbations ? Ces nouvelles problématiques nous obligent à revoir à la fois les outils d'analyses et les proxys d'impact sur les écosystèmes.

**CS INEE** : Soizic Prado, Camille Larue

**CNRS-INEE** : Stéphane Blanc, Gilles Pinay

## SANTE & ENVIRONNEMENT

### Co-animatrices :

- Audrey Bergouignan (IPHC-UMR 7178, Strasbourg)
- Florence Débarre (IEES-UMR 7618, Paris)
- Ana Rivero (MIVEGEC-UMR 5290, Montpellier)
- Elodie Robert (LETG-UMR 6554, Nantes)

Sur la période la plus récente de l'Anthropocène, la l'accroissement rapide et important de la population humaine, l'intensification de la mondialisation, l'accélération des progrès scientifiques, techniques et numériques, l'industrialisation, les changements dans l'exploitation des milieux continentaux, littoraux et marins, et les modifications climatiques, ont entraîné des changements environnementaux rapides et marqués. Tous provoquent des variations du mode de vie de tous les organismes, hôtes ou pathogènes, ainsi que leur circulation. Les facteurs de risques englobent aussi bien les facteurs liés au mode de vie (chez les humains : facteurs sociologiques tels que stress, conditions de travail, activités physiques, sédentarité, alimentation...) que les facteurs environnementaux externes (polluants, particules fines, radiations, perturbateurs endocriniens, antibiotiques, pesticides, bruit, facteurs climatiques...) et internes (métabolisme, flore intestinale, inflammation, stress oxydant). Leurs conséquences sur le développement des maladies chroniques non transmissibles, comme sur l'évolution des cortèges de pathogènes, sont loin d'être négligeables.

Le but de cet atelier « Santé & Environnement » est d'identifier les futures pistes et priorités de recherche qui permettront de mieux comprendre l'interaction des facteurs génétiques et environnementaux sur les déterminants de la **santé humaine, animale et végétale**, et ainsi mieux les anticiper et les prévenir. L'atelier sera structuré autour des axes thématiques suivants :

#### **Axe 1: Environnement moderne et maladies non transmissibles**

Mots clés: comportements de santé, anthropologie biologique et culturelle, environnement social et construit, transition épidémiologique, transition nutritionnelle, industrialisation, urbanisme, maladies chroniques.

#### **Axe 2: Conséquences génétiques, épigénétiques et phénotypiques des facteurs environnementaux externes**

Mots clés: éco-toxicologie, pollution, pesticides, perturbateurs endocriniens, radiation, environnement in utero, cycle de vie.

#### **Axe 3: Changements globaux et santé**

Mots clés: relations multi-échelles, perturbations écosystémiques, santé planétaire/One health, pratiques, éthique, social-écologie de la santé.

**Axe 4: L'hôte comme écosystème**

Mots clés: Co-infections, multiplicité des infections, symbioses, microbiome, holobionte.

**Axe 5: Écologie et évolution des zoonoses/sauts d'hôte**

Mots clés: émergence, transmission, co-adaptation, changements anthropiques.

**Axe 6: COVID-19, quelles leçons pour la suite ? Quel rôle pour l'INEE ?**

Mots clés : accès aux données (épidémiologique, génétiques, génomiques), structuration de la communauté, interactions avec les décideurs, financements, définition de la politique scientifique.

**Axe 7: Conséquences éco-évolutives des interventions médicales et agronomiques?**

Mots clés: résistances, médicaments, antibiotiques, vaccins, chimiothérapie, pesticides.

**CS INEE :** Virginie Rougeron, Fabrice Vavre

**CNRS-INEE :** Stéphane Blanc, François Renaud, Delphine Destoumieux

## AGRO-ÉCOLOGIE ALIMENTATION, ENVIRONNEMENTS

### Co-animateurs-animatrice

- Julien Blanc (EA-UMR 7206, Paris)
- Samuel Rebulard (Université Paris Saclay)
- Joan Van Baaren (ECOBIO-UMR 6553, Rennes)

L'alimentation humaine et la production des aliments, prises dans leurs relations, constituent des thèmes aujourd'hui incontournables pour se saisir tant des enjeux globaux de conservation de la biodiversité, de l'adaptation aux changements climatiques et à la croissance démographique, que de ceux relatifs à la santé humaine. Actant des forts enjeux contemporains autour de la question agricole et de l'enjeu de penser la transition à partir d'un modèle industriel largement décrié, les prospectives 2017 avaient fait de l'agroécologie et des transitions agro-écologiques l'un de leurs thèmes. L'idée de cet atelier est de poursuivre sur cette voie tout en proposant un élargissement de la thématique en lui offrant une assise réflexive plus large et en assumant une perspective largement exploratoire.

Le principal enjeu de l'atelier est de réussir à stimuler des communautés de recherche qui sont restées jusqu'ici à la marge de cette thématique notamment parce que sa formulation et ses enjeux, tels qu'ils sont aujourd'hui posés, ne sont pour eux que difficilement saisissables. En d'autres termes, il s'agit de réinsérer cette thématique très contemporaine et dont les enjeux très ciblés répondent souvent à des perspectives appliquées ou rapidement applicables dans un champ de réflexion et d'interrogations plus larges, et de lui faire bénéficier de cette prise de recul, en retour.

Parmi les multiples questions qui se posent, nous pouvons lister comme pistes de réflexions:

Quels sont les mécanismes par lesquels l'augmentation de la diversité végétale agit sur un ensemble de services écosystémiques ? Comment décliner les pratiques agro-écologiques à de grandes échelles spatiales dans le contexte des changements climatiques ? En quoi les pratiques agro-écologiques permettent-elles l'atténuation des effets des changements climatiques ? Quels sont les freins sociétaux à l'agro-écologie, comment intégrer la grande diversité d'acteurs ? De la parcelle aux agroécosystèmes quels sont les impacts de nos choix alimentaires ? Comment appréhender les aspects étic et émic des relations aux aliments par les populations humaines ? L'agroécologie est-elle capable de répondre à nos évolutions alimentaires ? Comment les pratiques du passé (le temps long) nourrissent-elles ces réflexions ? Comment pense-t-on la transition écologique et la transition nutritionnelle/agro-alimentaire aujourd'hui ? Comment appréhender les insectes, à la fois pour la pollinisation des cultures, dans la lutte contre les ravageurs, mais aussi comme opportunités alimentaires pour l'homme et l'animal ?

Il s'agit d'interroger les (agro)écosystèmes en intégrant différentes temporalités et espaces, du local au global ainsi que l'ensemble des acteurs concernés, par une approche inter-disciplinaire. Concrètement, il s'agit de permettre à des spécialistes aussi divers que les écologues du climat, les biologistes travaillant sur les microbiotes, les plantes, les ravageurs des cultures et leurs ennemis naturels, les historiens de la modernité ou des temps plus anciens, les archéobotanistes et archéologues, anthropologues, sociologues, économistes, géographes, philosophes ou spécialistes

de l'innovation comme des sciences de l'éducation (liste non-exhaustive) de venir s'exprimer sur la manière dont les enjeux de transitions agroécologiques, très présents aujourd'hui dans le débat public, viennent les interroger et comment ils estiment que leurs travaux et réflexions pourraient les faire avancer, tels qu'ils sont posés mais surtout en contribuant à poser les questions différemment.

**Mots clés:**

- sociétés et biodiversité
- transitions, changement d'échelles, adaptation, résilience, innovations
- temporalités (temps long, contemporain, modernité), gradients spatiaux, transversalités
- diversité culturelle et diversité biologique
- sciences de la vie, humanités environnementales, archéologie
- systèmes alimentaires

**CS INEE :** Margareta Tengberg, Sylvie Guillerme, David Giron, Marc André Selosse

**CNRS-INEE :** Stéphane Blanc, Gilles Pinay

## MIGRATIONS HUMAINES ET IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT NON-HUMAIN

### Co-animateur-animatrices :

- Paul Verdu (EA-UMR 7206, Paris)
- Marjan Mashkour (AASPE – UMR 7209, Paris)
- Myriam Valero (BEEA - UMI 3614, Roscoff)

Les migrations humaines ont joué un rôle prépondérant tout au long de notre histoire évolutive et culturelle. Ainsi, de très nombreux travaux de recherche issus de nombreuses disciplines ont étudié l'histoire de ces migrations à différentes échelle géographique et temporelles, afin de reconstruire les migrations passées, leurs routes et les processus mis en œuvre, et montrant comment migrations et métissages ont, de tout temps et partout, influencé la diversité biologique et culturelle de notre espèce. En outre, les humains ne migrent pas seuls. De nombreuses espèces microbiologiques, fongiques, animales et végétales ont accompagné, de manière induite, forcée ou fortuite, les déplacements humains à travers le monde ; participant ainsi à modifier profondément les paysages et à bouleverser, parfois de façon dramatique et irréversibles, les écosystèmes et la biodiversité préexistants.

Nous souhaitons aborder dans cet atelier des Perspectives de l'INEE 2021, les enjeux méthodologiques et thématiques actuels et futurs de l'étude des migrations humaines et des migrations non-humaines, végétales, animales, fongiques et microbiologiques (pathogéniques ou non) induites, pour les nombreuses disciplines de l'écologie, de l'archéologie, de l'anthropologie, de la biologie de l'évolution, de la démographie, de la géographie, de l'éthique et de l'épistémologie, abordées par les chercheurs au sein de l'INEE et au-delà.

Il s'agit autant de comprendre et partager les nouvelles méthodes disciplinaires et interdisciplinaires mobilisées par les chercheurs pour comprendre les migrations humaines et leurs influences complexes sur la diversité biologique et culturelle de l'Homme et de son environnement, que d'aborder leurs limites et les nouvelles approches permettant de les dépasser.

Forts de ces constats, nous souhaiterions aborder les grandes questions et perspectives auxquelles les recherches futures pourront s'intéresser sur des sujets aussi variés que, par exemples : l'histoire des diffusions des espèces domestiques et/ou sauvages associées à celles de l'Homme, et les bouleversements écologiques induits ; l'histoire des migrations démographiques et des métissages biologiques et culturels humains, à quelles échelles géographiques et à quelles fréquences; les mobilités humaines et non-humaines-induites dans l'ère de bouleversements climatiques majeurs que nous abordons ; le rôle des différents milieux aquatiques et terrestres sur l'histoire des migrations humaines et des espèces associées, et comment celles-ci affectent différemment les écosystèmes terrestres et marins.

Ces aspects sont loin d'être exhaustifs, et toutes contributions s'intéressant aux différentes dimensions écologiques, biologiques, évolutives, politiques et sociétales des migrations humaines, passées, présentes, et futures alimenteront indubitablement nos réflexions communes au cours de cet atelier.



Nous invitons donc les membres des communautés scientifiques intéressés par cette thématique et ces questions, à partager avec nous et les participants à cet atelier un texte synthétique d'une page maximum ou moins, libre sur la forme comme sur le fond. Il s'agit d'exposer un regard scientifique porté sur l'étude des migrations humaines, l'impact de l'anthropisation sur la biodiversité des populations, des écosystèmes et des socio-écosystèmes ainsi que leurs capacités de résilience sur le temps long.

**CS INEE** : Virginie Rougeron, Evelyne Heyer

**CNRS-INEE** : Agnès Mignot, Agathe Euzen

## SOCIO-ECOSYSTEMES EN CRISE : LE MILIEU URBAIN, LE LITTORAL

### Co-Animateurs-Animatrices :

- Vanina Pasqualini (SPE – UMR 6134, Corte)
- Anne Puissant (LIVE, UMR7362, Strasbourg)
- Brice Trouillet (LETG – UMR 6554, Nantes)
- Jean Nabucet (LETG – UMR 6554, Rennes)

Dans un contexte de changement global, les socio-écosystèmes sont soumis à des pressions biophysiques et anthropiques générant des situations de crises et/ou transitions à plus ou moins long terme et à différentes échelles spatiales.

Il s'agit dans cet atelier de s'intéresser plus particulièrement à deux biomes spécifiques et fortement anthropisés que sont la ville et le littoral. Chacun est impacté non seulement par les changements globaux, les variations climatiques avec la multiplication d'événements extrêmes et autres événements majeurs, l'urbanisation, les pressions sur les ressources... mais aussi par des dynamiques internes (espèces, sociétés) qu'il s'agit de mieux comprendre.

Si ces biomes peuvent s'appréhender dans leur fonctionnement propre, ils doivent aussi être considérés à travers leurs interfaces (terre-mer ; urbain-périurbain-campagne/rural) pour une gestion intégrée et durable des territoires et des socio-écosystèmes dans lesquels ils se développent.

Pour cet atelier, les participants sont invités à ancrer leurs réflexions prospectives dans l'un des deux axes suivants :

Dans un contexte de changements globaux, les « dynamiques » des socio-écosystèmes renvoient-elles à des phénomènes de « crise(s) » ou de « transition(s) », ou à de simples fluctuations ? Alors que la crise qualifie une situation de tension voire de rupture affectant un socio-écosystème (Holling et al., 2002; Beck et al., 2006), généralement connotée négativement, la transition évoque davantage le passage progressif (mais non forcément linéaire...) d'un état à un autre plutôt considéré comme meilleur. Mais ces notions de crise ou de transition, qui sont aussi des construits sociaux, ne sont sans doute pas suffisamment stabilisées. Il convient donc de réinterroger ces notions à travers ces deux biomes – ville et littoral – où les pressions multi-sources et multi-échelles s'expriment sur des espaces limités.

Par leur ampleur, par leur rapidité, par les décalages dans le temps et dans l'espace entre les causes et leurs manifestations, par la complexité des combinatoires, etc., les changements globaux conduisent également à revisiter la question de la capacité des sociétés humaines à agir. Il s'agit donc là de s'intéresser aux trajectoires spatio-temporelles à travers la régulation, l'adaptation, la gestion, l'anticipation, la remédiation, la mitigation, etc., là encore en prenant appui sur les deux biomes de la ville et du littoral offrant une diversité de cas d'étude.

Transversalement à ces deux axes de discussion, mériteront d'être mis en perspectives :

- Les dispositifs d'observation,
- Les échelles (du mondial au local, du long au court terme),
- La place du numérique, de l'observation à la régulation en passant par la formulation du « problème »,
- Les savoirs dans toute leur diversité (« scientifiques » ou non),
- La place de l'humain, autrement dit la question de l'anthropisation ou de l'humanisation et celle des usages,
- La question de la réflexivité.

Ces différents points d'entrée dans la discussion se veulent aussi ouverts et délibératifs possibles. Toute autre proposition pouvant s'articuler à cette base programmatique est donc la bienvenue.

**CS INEE** : Vincent Dubreuil, Laurent Memery

**CNRS-INEE** : Agathe Euzen, Gilles Pinay

## LES POLES

### Co - Animatrices :

- Catherine Larose (Ampère – UMR 5005, Villeurbanne)
- Emilie Gauthier (Chrono-Environnement – UMR 6249 Besançon)

Les écosystèmes polaires sont actuellement parmi les plus impactés par le changement global. Par ailleurs, leur vulnérabilité a tendance à s'accroître sous l'intensification des activités économiques, que ce soit aux échelles globales mais aussi locales suite notamment à la disparition de la glace de mer. L'évolution de la cryosphère, le réchauffement des masses d'eau ou encore l'augmentation des polluants impliquent des modifications drastiques sur les écosystèmes marins. Les écosystèmes terrestres subissent également de profonds changements liés par exemple à la fonte du pergélisol ou à l'augmentation des précipitations. Dans ces régions sensibles, les forçages anthropiques peuvent par ailleurs impacter le climat et les écosystèmes sur des échelles globales avec une intensité d'autant plus forte que les rétroactions non linéaires y jouent un rôle prépondérant (glace - albedo, pergélisol - méthane, etc..). Ces bouleversements peuvent être appréhendés à la lumière des évolutions passées, et une démarche de rétro-observation des écosystèmes et des interactions sociétés environnement permet de mesurer plus précisément l'ampleur du changement actuel. Enfin, cette recherche en zone polaire doit aujourd'hui s'inscrire dans une démarche transversale et pluridisciplinaire prenant en compte les populations autochtones, dans le but de les intégrer à la démarche scientifique et d'aller vers un partage et une coproduction des savoirs. Le réchauffement rapide des Pôles a déjà des impacts significatifs directs sur les espèces, la disponibilité et la structure des ressources et les populations humaines (santé, régime alimentaire, virus etc..), ce qui produira nécessairement des crises sociales et politiques, dont les prémises sont déjà présentes. Par ailleurs, la gouvernance internationale de ces régions en pleine évolution constitue un enjeu fondamental pour les années à venir.

**CS INEE :** Laurent Memery

**CNRS-INEE :** Jérôme Fort

## RETROACTION DU FONCTIONNEMENT DES ECOSYSTEMES A L'ECHELLE REGIONALE VERS LE FONCTIONNEMENT GLOBAL

### Co - Animateurs :

- Thomas Servais (Evo-Eco-Paléo – UMR 8198, Villeneuve d'Asq)
- Joel Guiot (CEREGE – UMR7330, Aix en Provence)
- Samuel Abiven (LG-ENS – UMR 8538, Paris)

La compréhension de la structure et du fonctionnement des écosystèmes est au cœur des enjeux actuels dans le cadre de l'accélération et de l'intensification des forçages internes ou externes (climat, usage des sols, pollution, biodiversité, cycles biogéochimiques). Elle nécessite le développement d'approches systémiques intégrées, permettant d'accéder aux interactions et couplages complexes (au sens de la dynamique non linéaire) entre les différents compartiments (les différentes "sphères") et leurs interfaces (sols, écotones, sociétés). L'interaction des échelles biologiques (du gène à l'écosystème), temporelles (de l'ancien - période historique - à l'actuel et à la scénarisation du futur) et spatiales (du local au global), dans leurs singularités et leurs universalités, requiert des itérations continues entre mesures *in situ*, *ex situ* et modélisation, afin d'accéder aux impacts des changements dans toute leur dynamique. Les questions liées notamment aux concepts de socio-écosystèmes, à l'emboîtement des échelles, à la dynamique non linéaire (effets de seuil, ruptures, transitions, adaptation, résilience) ainsi que celles liées à la caractérisation des forçages, à l'utilisation de ces forçages pour appréhender les temps de réponse caractéristiques des écosystèmes aux perturbations, et le cas échéant leurs trajectoires d'évolution, pourront être au cœur des enjeux de l'atelier.

Cela implique de collecter des données d'observation et d'expérimentation sur les systèmes allant de la molécule au biome; de définir les relations de cause à effet entre des processus biotiques et abiotiques, qui souvent ne se déroulent pas tous à la même vitesse ; de définir les rétroactions biotiques-abiotiques dans leur durée, leurs effets cumulatifs et leurs conséquences spatiales ; d'évaluer les seuils critiques de basculement des écosystèmes dans le contexte du changement climatique actuel et de pression croissante des sociétés sur les écosystèmes. Cela implique également une modélisation dynamique des systèmes complexes intégrant les différentes échelles temporelles et spatiales.

### Exemples de cas d'études ou de questions

- Cycles biogéochimiques et changements climatiques: comment mesurer les rétroactions ? A-t'on déjà les méthodes ou faut-il en inventer ?
- Adaptation des écosystèmes aux changements globaux : doit-on agir avec des technologies "innovantes" ou promouvoir les rétroactions naturelles ?

- Les données incomplètes du passé peuvent-elles aider à comprendre la complexité actuelle ?
- Peut-on modéliser des rétroactions sans lien avec des données mesurées ? Les modèles sans les données ne sont-elles que fientes de l'esprit (un simple déchet ou un fertilisant?) ?
- Jusqu'à quel point est-il nécessaire de connaître les mécanismes ? Jusqu'à l'échelle moléculaire pour comprendre la dynamique des écosystèmes ? A quoi cela sert-il d'empiler des données ?

**Mots clés** : processus, interactions, rétroaction, (paléo-) biodiversité, (socio-) écosystème, modélisation, changement d'échelle

**CS INEE** : Laurent Memery

**CNRS-INEE** : Dominique Joly, Gilles Pinay

## L'OBSERVATION A DISTANCE : VEROUS ET ENJEUX

### Co-Animateurs

- Thomas Houet (LETG-UMR 6554, Rennes)
- Laurent Longuevergne (Géosciences Rennes-UMR 6118)
- Yan Ropert-Coudert (CEBC-UMR7372, La Rochelle)

L'observation à distance repose sur une instrumentation autonome et/ou contrôlée à distance, mais ne nécessitant plus la présence régulière des scientifiques. Cette instrumentation est au cœur de bon nombre de questions scientifiques. La recherche procède en effet souvent d'observations opportunistes et l'instrumentation permet de multiplier notre capacité d'observation, de quantifier des phénomènes biophysiques ou sociaux au-delà de nos 5 sens et à de multiples échelles spatiales et temporelles. Ces nouvelles données, et/ou leur densité, permettent d'envisager le passage d'une caractérisation d'une propriété biophysique, géochimique ou sociale à une caractérisation de processus socio-écologiques, physiques, etc. L'observation à distance favorise également une prise de recul qui est nécessaire pour se détacher de l'objet d'étude ou de la mesure, ainsi qu'une vision holistique, synoptique, objective et intégrative. Aujourd'hui, elle ambitionne de faire bouger les lignes, de soulever de nouveaux questionnements, de revisiter de vieux serpents de mer (le changement d'échelle par exemple) voire de faire évoluer certains paradigmes.

L'observation à distance regroupe ici trois grands types d'approches selon les données / instruments utilisés et pour lesquels le scientifique n'a pas l'obligation d'être présent :

- L'instrumentation fixe et autonome permettant l'acquisition à haute fréquence de variables bio-physiques ponctuelles (ex. station météorologique, caméra observant une portion de l'espace ou détectant le passage d'animaux...);
- L'instrumentation embarquée sur des vecteurs non-humains (nano satellite, drone aérien ou (sous-marin, ballon, rover ou robot, ...) ou vivants (animaux via le bio-logging et la bio-téléométrie);
- L'instrumentation et l'observation "grand public" (smartphone, instrument connecté, questionnaires, etc.) permettent de démultiplier les capacités d'observation, de capter, densifier, en sus de données physiques, un grand nombre de "points de vue" (perception sociale, subjectivité, relations sociales, jeux d'acteurs...) grâce aux sciences sociales et participatives.

Si de nombreuses voies connexes seront probablement abordées dans cet atelier, notamment les thèmes en lien avec le "big data" et les moyens de les analyser, le machine learning, les capteurs intelligents et l'intelligence embarquée, la biomimétique et la robotique, la FAIRisation des données, leur exploration ne sera pas poussée à son maximum car elles seront traitées dans d'autres ateliers. On se limitera ici aux thématiques, instruments et/ou variables s'intéressant à l'écologie et à l'environnement (homme inclus), à l'écophysiologie, aux socio-écosystèmes au sens large. Il ne s'agira

pas de réaliser un état des lieux de ce qui existe ou de se concentrer uniquement sur les aspects purement techniques liés à l'instrumentation.

L'atelier s'efforcera d'identifier (1) des grandes questions auxquelles nous aimerions répondre en partant de l'hypothèse que l'observation à distance palliera aux données jusqu'alors manquantes et qu'un scientifique rêve d'obtenir (Quelles opportunités scientifiques qui seraient permises par l'observation à distance ? Par exemple, comment se développent les écosystèmes sous la glace de mer ou encore comment mesurer les niveaux d'ensoleillement reçus par chaque feuille d'arbre ?), (2) les verrous inhérents (technologiques, déploiement, autonomie) et (3) et les leviers possibles (Quelles interdisciplinarités sont nécessaires pour lever certains verrous ? Quels couplages des différentes approches d'observations à distance mentionnées plus haut pour quelles problématiques scientifiques ? Quels usages des données permettant une approche plus exhaustive, intégratrice, transverse ?). L'atelier interrogera également la pertinence et les limites de la structuration actuelle de la recherche scientifique (MITI, GdR, UMRs, OSUs, etc.) et des dispositifs d'observation (RZA, OZCAR, RHOM) vis-à-vis de cet enjeu fort qu'est l'observation à distance.

**CS INEE :**

**CNRS-INEE :** Dominique Joly, Gilles Pinay



## DONNEES, APRES L'ACQUISITION

Co-animatrices et animateurs :

- Cécile Callou (BBEES, UMS 3468, Paris)
- Bruno Mansoux (BBEES, UMS 3468, Paris)
- Arnaud Elger (LEFE, UMR 5245, Toulouse)
- Émilie Lerigoleur (GEODE, UMR 5602 CNRS, Toulouse)

Les scientifiques produisent des données dès qu'ils réalisent une observation ou prélèvent un échantillon sur le terrain ou en conditions contrôlées. Les données sont également de plus en plus souvent issues de systèmes automatisés (e.g. capteurs connectés), générées par des simulations numériques ou produites par les citoyens au travers des « sciences participatives ». L'ensemble de ces données, ainsi que diverses informations renseignant sur le contexte dans lequel elles ont été acquises (métadonnées) sont stockées dans des bases de données et/ou archivées sous forme de fichiers.

Afin que toutes puissent être réutilisées, elles doivent être trouvables, accessibles et interopérables selon les principes « FAIR » et leur utilisation doit être tracée afin de rassurer les producteurs sur leur devenir, en les identifiant par des PID (Persistant Identifier, e.g. DOI). Il faut également qu'elles soient décrites selon des formats standardisés (e.g. INSPIRE, DUBLIN CORE, DARWIN CORE, etc.) et des thésaurus partagés, et soient stockées dans des formats de fichier ouverts (e.g. CSV, TXT, XML, JSON) garantissant leur réutilisation hors du contexte pour lequel elles ont été acquises, et ce dans un laps de temps pouvant aller jusqu'à plusieurs décennies.

Les données sont donc au cœur d'un cycle qui, de leur production à leur réutilisation, passe par des étapes clés comme leur documentation, leur conservation et leur exposition. Ce concept de cycle de vie des données de la recherche implique par ailleurs diverses compétences, agissant bien souvent dans l'ombre, pour assurer la sécurisation des données, leur formatage, leur accessibilité, leur pérennité et leur éco-responsabilité. Cet atelier mettra en évidence tous les métiers qui interviennent de près ou de loin dans cette chaîne de gestion et de traitement de la donnée.

De nombreux outils ou services sont mis à la disposition de tous pour faciliter le flux d'informations entre chaque étape de ce cycle de vie (entrepôts de données, services d'archivage ou d'exposition, méthodes de gestion, bonnes pratiques, etc.). L'objectif de cet atelier, au travers d'échanges, de retours d'expérience et de présentations, est de guider chaque participant dans la formalisation du cycle de vie des données de son laboratoire ou de son projet et de l'aider à le personnaliser en identifiant les outils et les concepts existants pour le rendre plus performant. Ce sera également l'occasion d'identifier les nouvelles opportunités liées aux technologies de l'information en rapide évolution, ainsi qu'un certain nombre de verrous nécessitant des actions de recherche ou de formation au sein des laboratoires.

**Vers une approche planifiée de la gestion des données**

Pour identifier les compétences à mobiliser, le budget et les ressources matérielles requises pour bien gérer ses données, que ce soit dans le cadre d'un projet ou non, il s'avère indispensable d'établir bien en amont un Plan de Gestion des Données, en anglais *Data Management Plan* (DMP). Ce DMP est donc une étape clé du cycle de vie des données, d'une part pour bien identifier les besoins et les ressources à mettre en œuvre localement, et d'autre part pour permettre aux tutelles d'évaluer la capacité des services centraux d'archivage et de stockage, ainsi que du dimensionnement des services de diffusion. Alors que le DMP est encore souvent perçu comme une contrainte par les porteurs de projets de recherche, l'atelier s'attachera à mettre en exergue les bénéfices qu'il apporte aux scientifiques dans la pratique quotidienne de leur recherche.

### **De nouveaux outils pour le traitement des données et les approches collaboratives**

Les nouvelles pratiques de collecte de données liées par exemple au développement de l'Internet des Objets (IoT) et à sa déclinaison en « Internet des Animaux » (système de suivi globalisé de la nature), ou encore aux approches participatives basées sur l'utilisation de smartphones, conduisent souvent à un transfert des données vers un serveur immédiatement après leur acquisition. Cela offre des opportunités de traitement automatisé quasiment en « temps réel », mais génère également de nouvelles problématiques liées au *big data*, en termes de volumétrie et d'hétérogénéité.

L'une des réponses proposées face à ces nouveaux enjeux est le lac de données (en anglais *data lake*), qui a vocation à stocker les données sans prétraitement et sans a priori quant à leur nature et à leur usage ultérieur. L'image du lac renvoie à la multiplicité des sources qui convergent vers un exutoire commun, et au niveau duquel les utilisateurs peuvent plonger pour explorer son contenu à leur guise. Le lac de données présente une structure modulaire qui permet aussi bien de traiter les données après un premier stockage, d'alimenter des bases de données dédiées à des usages spécifiques, que de les visualiser ou de les analyser via des outils en ligne.

Le lac de données peut être le point de départ d'approches collaboratives dématérialisées entre les chercheurs et promouvoir la science ouverte. On assiste depuis quelques années à l'émergence d'Environnements Virtuels de Recherche (EVR), combinant des fonctionnalités d'hébergement de documents et des outils spécifiques à une discipline (e.g. pour l'analyse et la visualisation des données, l'entraînement d'algorithmes de *machine learning*, la conduite de simulations à partir de codes numériques). L'appropriation de ces EVR est un enjeu important en sciences de l'environnement, et implique à la fois une montée en compétences des utilisateurs vis-à-vis de certains outils (e.g. programmation en Python) et le développement de nouvelles fonctionnalités et interfaces plus conviviales et adaptées aux attentes des thématiciens.

### **Réduction de l'empreinte carbone du cycle de vie des données**

Le secteur informatique représentait près de 7% de la consommation électrique mondiale en 2019. Ces besoins énergétiques sont dus à la sollicitation accrue des infrastructures informatiques (centre de données, serveurs web, switch, etc.) et à la climatisation pour les refroidir. L'empreinte carbone du numérique est aujourd'hui égale à celle de l'aéronautique mondiale et contribue donc significativement au réchauffement climatique.

Pour réduire cette empreinte écologique, les acteurs de la recherche ont un rôle à jouer. Cela passe par une modification des pratiques quotidiennes, par exemple en cherchant à limiter les redondances en matière de stockage sur les serveurs. A minima, une donnée est généralement copiée quatre fois (sur deux disques durs d'un serveur montés en miroir pour pallier la défaillance de l'un d'eux et sur deux sites distants à cause du risque d'incendie). Les données inutilement dupliquées entraînent donc une inflation rapide des besoins de stockage.

L'acquisition de données via des objets connectés est également une source majeure d'augmentation des besoins en matière de stockage. Là aussi des pistes de réflexion sont à considérer pour concilier les objectifs scientifiques avec une sobriété numérique, par exemple en adaptant la fréquence d'échantillonnage et/ou en prétraitant les données au plus proche des dispositifs de mesure pour réduire leur volume.

Les développeurs et les administrateurs réseau devraient quant à eux privilégier des outils moins gourmands en ressources, avec des fonctionnalités modulaires, permettant ainsi leur désactivation pour libérer de l'espace de stockage ou réduire la puissance de calcul. Il est donc important de prévoir des indicateurs d'utilisation pour identifier les fonctions d'un outil qui sont rarement utilisées.

Il est devenu indispensable pour un laboratoire de recherche qui déploie un DMP d'intégrer ces bonnes pratiques pour aider les personnels à comprendre leur empreinte écologique, à se poser les bonnes questions en amont de leur projet quant à la création et l'exploitation d'un service numérique, et les orienter vers des solutions qui soient à la fois adaptées à leurs besoins et plus éco-responsables.

Les sessions précédentes des prospectives de l'InEE (Avignon 2012, Bordeaux 2017) ont été l'occasion de discuter de la question d'acquisition des données dans des ateliers dédiés. L'objectif de cet atelier sera de proposer un lac des données vertueux, soutenable scientifiquement, mais aussi économiquement et écologiquement.

**CS INEE** : Alain Queffelec

**CNRS-INEE** : Dominique Joly

## PHENOTYPAGE HAUT-DEBIT

### Co-Animateurs-Animatrice :

- Violaine Llaurens (ISYEB, UMR 7205, Paris)
- Christophe Salon (GEAPSI - INRAE, Dijon)
- Olivier Tenaillon (IAME, UMR 1137 INSERM, Paris)

### Phénotypage haut débit

Les méthodes de séquençage ont connu des avancées technologiques majeures durant les dernières décennies, ouvrant l'accès aux génomes et transcriptomes complets de multiples organismes. Face au volume gigantesque de ces données de séquences, la quantification à large-échelle des phénotypes des organismes séquencés soulève des défis méthodologique et technique. Le but de cet atelier sera d'établir l'état actuel du phénotypage haut-débit et les avancées en cours, les perspectives attendues. Il s'agira de discuter des défis rencontrés dans les différents organismes étudiés, depuis la collecte des données jusqu'à leur analyse.

### Quels organismes ?

Le phénotypage haut-débit est bien développé pour une diversité d'espèces végétales, avec en particulier le développement de dispositifs de cultures, de systèmes d'acquisition de données (e.g. par imagerie ou concernant les variables environnementales) et leur traitement, de plateformes robotisées que ce soit en conditions contrôlées ou en conditions naturelles, pour les parties aériennes ou souterraines des plantes. Ces outils et infrastructures équipées pour la quantification de certains traits phénotypiques, le plus souvent par imagerie, ne semblent pas aussi développées pour appréhender la diversité phénotypique d'autres organismes non végétaux.

Le phénotypage haut-débit semble notamment dépendre de la capacité à faire pousser ou élever les organismes en conditions de laboratoire, ou tout du moins en conditions contrôlées. Ainsi le phénotypage haut-débit des bactéries est également très développé. Établir des méthodes permettant le phénotypage d'espèces non-modèles paraît donc comme un des défis importants dans les études en écologie et évolution. Le développement de telles méthodes pourra permettre le phénotypage d'un grand nombre d'individus et d'espèces, ouvrant de nouvelles pistes de recherche.

### Quels traits ?

Selon la nature des traits étudiés, la disponibilité de méthodes de phénotypage haut-débit est très différente.

### *Une question d'échelle.*

Pour des traits à échelle moléculaire, tels que le transcriptome, le métabolome ou les profils chimiques, la plupart des techniques employées peuvent être appliquées sur un grand nombre d'individus en parallèle.

De la même manière, à l'échelle cellulaire, le marquage des cellules avec des codes barres génétiques couplés à du séquençage permet de caractériser des centaines à des milliers de génotypes différents, mais la plupart du temps, seul un trait est mesuré (une fluorescence révélant l'induction d'un gène, ou une valeur sélective).

A l'échelle macroscopique, des techniques d'analyse d'image dans différentes longueurs d'ondes actuellement en développement donnent accès à des variables morphométriques. Les méthodes de comparaison (morphologie géométrique traditionnelles ou impliquant de l'apprentissage automatisé) contribuent à établir des liens statistiques entre variations génétiques et phénotypiques.

### ***Traits comportementaux.***

Chez les animaux, la dimension comportementale implique un phénotypage éminemment multi-varié. Les méthodes d'analyse d'images et d'apprentissage supervisé permettent d'analyser un grand nombre de séquences comportementales filmées dans des conditions diverses. Les bases génétiques impliquées dans des comportements clefs comme les préférences sexuelles restent toutefois encore très mal connues, du fait de la difficulté à mesurer de manière répétable et fiable ces traits comportementaux sur de nombreux individus, et donc à cartographier et identifier les gènes impliqués.

### ***Lien avec la valeur sélective.***

Certains traits sont directement liés à la valeur sélective comme par exemple le taux de croissance chez les bactéries. Pour d'autres traits, le lien avec la valeur sélective n'est pas toujours établi. Dans le but de comprendre les mécanismes impliqués dans l'évolution des traits, le phénotypage des traits doit être couplé à l'étude des conséquences sur la fitness. Pour des traits morphologiques par exemple, les traits choisis seront liés à la performance des individus dans un contexte écologique donné. Le choix des traits à étudier dépend donc du lien avec la valeur sélective pour des questions évolutives, ou de leur implication dans l'interaction avec d'autres espèces dans le cadre de questions écologiques. La grande diversité des traits étudiés dans les domaines de l'INEE suppose de développement de techniques de phénotypages haut-débit adaptées et diverses.

### **Quels stades développementaux ?**

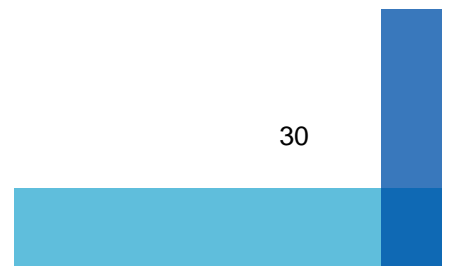
Pour permettre des comparaisons pertinentes entre individus ou entre espèces, le phénotypage haut-débit implique de pouvoir caractériser ou contrôler de manière fine le stade développemental auquel le trait est mesuré. Ceci est d'autant plus difficile que la fenêtre temporelle au cours de laquelle le trait comportemental peut être mesuré est courte. Pour des questions liées à la biologie du développement notamment, le phénotypage haut-débit peut également nécessiter des mesures de traits répétées au cours du développement des différents individus étudiés.

### **Quelles conditions environnementales ?**

Enfin, les phénotypes mesurés dépendent fortement des conditions environnementales dans lesquelles les individus se développent et sont observés (plasticité phénotypique). Ainsi, une approche haut-débit peut également impliquer une mesure d'un même trait dans des conditions environnementales multiples.

**CS INEE** : Patricia Gibert, Frédéric Méry

**CNRS-INEE** : Didier Bouchon, Agnès Mignot



## APPROCHE GLOBALE DES ETHIQUES DANS LES RELATIONS SOCIETES/NATURE

### Co-Animateur-Animatrice :

- Rémi Beau (IEES – UMR7618, Paris)
- Catherine Aubertin (PALOC-UMR IRD/MNHN, Paris)

L'urgence écologique et la pandémie de Covid 19 nourrissent la réflexion sur les impacts du mode productiviste et extractiviste que les sociétés occidentales imposent à la « nature » réduite à son utilité marchande. Les rapports appelant à l'adoption de manières d'habiter la Terre moins destructrices pour la nature et à la réorientation des trajectoires de développement des sociétés humaines vers des modèles soutenables sur le plan écologique et social se multiplient[1]. Dans ce contexte, le déploiement d'une réflexion éthique capable d'éclairer les prises de décision collective et individuelle semble nécessaire.

Cette réflexion peut s'incarner dans une pluralité d'approches. De façon générale, l'éthique a trait aux manières de vivre ensemble. Elle invite à examiner les pratiques sociales à l'aune de leur capacité à façonner des sociétés désirables, propices à l'émancipation et à l'épanouissement de ses membres. Dans son versant critique, l'éthique renvoie aussi à un travail d'identification des torts commis, des injustices subies et des dénis de reconnaissance dont souffrent des individus, des communautés ou des types d'êtres vivants. L'éthique environnementale a pour spécificité de mettre au centre de ces analyses les interdépendances entre humains et autres qu'humains et les préjudices subis par ces derniers liés à certaines activités humaines. A partir de la compréhension de l'histoire longue des co-évolutions entre les espèces, elle invite à envisager des formes de cohabitation plus respectueuses de la diversité du vivant, des animaux, des plantes, des micro-organismes, des milieux.

L'éthique environnementale représente des enjeux scientifiques, mais aussi sociétaux essentiels. Elle se rapporte à une diversité de pratiques et à leurs transformations en vue d'atteindre des objectifs sociaux et environnementaux, par exemple dans le domaine de l'agriculture, de la gestion et de la protection de la « nature » (biodiversité, géodiversité), mais aussi de l'habitat, de la mobilité, de la santé et de l'énergie. Cet atelier se propose en particulier de faire un état des lieux critique de la prise en compte de l'éthique (des éthiques) dans les pratiques et questions de recherche et d'évaluer ses capacités à répondre aux défis environnementaux.

Les thèmes suivants, non exhaustifs, pourraient être abordés : Comment l'éthique peut-elle servir d'aiguillon critique pour se repérer dans l'Anthropocène[2], en termes de responsabilités engagées et de vulnérabilités des différents groupes sociaux ? Quelle place pour l'éthique dans la « science de la durabilité » et face aux défis des changements transformateurs ? Une écologie de la réconciliation société-nature est-elle possible ? Comment tenir compte de la diversité des points de vue humains et autres qu'humains pour inventer des cohabitations interspécifiques plus justes et quelle autonomie pouvons-nous reconnaître aux animaux, aux plantes ou aux dynamiques écologiques ? Face au « solutionnisme technologique » et à ses nombreux avatars (modification du

génomique, viande cellulaire, géo-ingénierie, technologie de l'information et de la communication, etc.), que peut l'éthique ? Comment concilier la disparité des regards et des normes bioculturelles ? Comment décoloniser la recherche sur la biodiversité et les savoirs traditionnels ? Quelle place accorder à l'éthique environnementale dans la formation des citoyens et des chercheurs de demain ?

Cet atelier entend rassembler des chercheurs des sciences du vivant et des sciences sociales aux prises de différentes manières avec ces questions éthiques afin d'en éclairer la compréhension et de dégager des pistes d'actions collectives.

**Mots clés :** Éthique environnementale ; Diversité bioculturelle ; Science de la durabilité ; Solutionnisme technologique ; Anthropocène/Capitalocène

**CS INEE :** Sylvie Guillerme, Soizic Prado

**CNRS-INEE :** Agnès Mignot, Agathe Euzen

---

[1] Voir par exemple : CDB, 2020. Global Biodiversity Outlook 5. <https://www.cbd.int/gbo5> ; Dasgupta P., 2021. The Economics of Biodiversity – The Dasgupta Review. <https://www.gov.uk/government/publications/final-report-the-economics-of-biodiversity-the-dasgupta-review> ; IPBES, 2020. Workshop on biodiversity and pandemics - Executive Summary. [https://ipbes.net/sites/default/files/2020-11/20201028\\_IPBES\\_Pandemics\\_Workshop\\_Exec\\_Summ\\_Laid\\_Out\\_Final.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/2020-11/20201028_IPBES_Pandemics_Workshop_Exec_Summ_Laid_Out_Final.pdf) ; UNEP, 2021. Making Peace with Nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies. <https://www.unep.org/resources/making-peace-nature>

[2] Bonneuil, C., & Fressoz, J. B. (2013). *L'événement Anthropocène: la Terre, l'histoire et nous*. Paris. Seuil.



## CO-CONSTRUCTION DES SAVOIRS

### Co-Animateurs-Animatrice

- Sophie Caillon (CEFE-UMR 5175, Montpellier)
- Bastien Castagneyrol (Biogeco, INRAE Bordeaux)
- Romain Julliard (CESCO – UMR 7204, Paris)

Les expériences de sciences et recherches participatives (SRP) constituent une interface de premier plan entre la recherche et la société en reposant directement sur l'engagement conjoint des chercheur·euse·s et des citoyen·ne·s, à titre individuel ou rassemblés en groupes d'acteurs spécialistes (associations, bureaux d'études, ...)<sup>1</sup>.

Les SRP se sont largement développées dans la dernière décennie, en parallèle d'une demande d'implication de la société dans la production et l'accès aux connaissances scientifiques susceptibles d'éclairer le débat public (mouvements d'accès ouvert des données et de science ouverte). Les SRP sont souvent présentées comme relevant de la co-construction des savoirs par les acteurs de la recherche et les non chercheurs, autrement dit comme une entreprise à bénéfices réciproques, pour l'avancement des connaissances collectives et individuelles.

Les approches de co-construction des savoirs posent un ensemble de questions inédites sur le rôle des institutions et des individus dans l'orientation et la mise en œuvre de la recherche, comme dans la diffusion et l'utilisation des résultats de la recherche. Or, les formes de co-construction des savoirs entre chercheurs et citoyens non chercheurs sont multiples<sup>2</sup>. Il y a par exemple de grandes différences de finalités et de modalités de co-construction des savoirs entre les deux formes extrêmes que sont d'une part des projets pilotés par la recherche et sollicitant les citoyens pour l'acquisition de données de masse (*crowdsourcing*) et d'autre part des projets à l'initiative d'acteurs non-académiques réunis autour d'une problématique commune auxquels la recherche pourra apporter un soutien intellectuel et logistique.

La diversité des formes de co-construction des savoirs rend difficile l'évaluation systématique, qualitative comme quantitative, de cette nouvelle approche de production des connaissances, qui est de nature à transformer à la fois la relation de la société à la science et à la recherche, et le rôle du chercheur.

L'aspect transformatif des SRP sur la société a reçu une attention croissante au cours des dernières années<sup>3,4</sup>. Il s'agissait notamment de comprendre la motivation des citoyens non-chercheurs à s'investir de manière durable dans la co-construction des savoirs avec les chercheurs, le but étant de renforcer l'engagement des participants vis-à-vis du projet et de promouvoir le transfert de connaissances<sup>5</sup>. Mais la motivation individuelle à s'impliquer dans un tel projet peut être extrêmement différente entre les participants impliqués dans un projet de collecte de données en masse (*crowdsourcing*) et un groupe de professionnels réunis autour d'une problématique commune pour laquelle la recherche pourra leur apporter des solutions personnalisées.

Les conséquences de l'engagement dans la co-construction des savoirs sur le métier de chercheur sont au contraire largement inexplorées. Une analyse bibliométrique rapide visant à simplement quantifier la production de connaissances scientifiques au travers des SRP sur la seule base de la quantité d'articles scientifiques publiés ne permettrait pas de révéler les transformations du métier des chercheurs impliqués dans la co-construction des savoirs. En effet, il ne s'agit plus seulement pour le chercheur d'interroger le monde et de le mettre en écriture pour le rendre accessible à sa seule communauté. Les démarches de co-construction des savoirs imposent une plus grande proximité entre les chercheurs et la société, de manière bilatérale. Les chercheurs engagés dans cette démarche sont obligés de s'adapter à un nouveau rythme de recherche afin d'intégrer une pluralité de régimes de pensée. Cette démarche s'inscrit souvent dans un autre mode de recherche, la *slow science*, un mouvement initié en Allemagne par *The Slow Science Academy*<sup>6</sup> en 2010 ([slow-science.org](http://slow-science.org)), puis par Olivier Gosselain<sup>7</sup> et Isabelle Stengers<sup>8</sup> en réaction à la surproduction d'articles scientifiques<sup>9</sup>, à l'accélération et à la désynchronisation entre les plus rapides et les plus lents<sup>10</sup>. Les chercheurs doivent innover non seulement en adaptant leurs questions de recherche et méthodes mais aussi leur posture en acceptant de sortir de leur position de "sachant" : les chercheurs impliqués dans ces approches de co-construction développent une attention plus particulière aux attentes de la société, en termes de questionnements comme de réponse. Cette transformation affecte inévitablement la marche de la science.

**CS INEE** : Patricia Gibert, Camille Larue, Estelle Baehrel

**CNRS-INEE** : Stéphane Blanc, Nicolas Teyssandier

## Références

1. Houiller, F. & Merilhou-Goudard, J.-B. *Les sciences participatives en France: Etat des lieux, bonnes pratiques et recommandations*. 123 <http://www.sciences-participatives.com/> (2016).
2. Haklay, M. *et al.* What Is Citizen Science? The Challenges of Definition. in *The Science of Citizen Science* (eds. Vohland, K. et al.) 13–33 (Springer International Publishing, 2021). doi:10.1007/978-3-030-58278-4\_2.
3. Deguines, N., Princé, K., Prévot, A.-C. & Fontaine, B. Assessing the emergence of pro-biodiversity practices in citizen scientists of a backyard butterfly survey. *Science of The Total Environment* **716**, 136842 (2020).
4. Kieslinger, B. *et al.* Evaluating citizen science - Towards an open framework. in *Citizen Science - Innovation in Open Science, Society and Policy* (eds. Hekler, S., Haklay, M., Bowser, A., Vogel, J. & Bonn, A.) 81–95 (UCL Press, 2018).
5. Land-Zandstra, A., Agnello, G. & Gültekin, Y. S. Participants in Citizen Science. in *The Science of Citizen Science* (eds. Vohland, K. et al.) 243–259 (Springer International Publishing, 2021). doi:10.1007/978-3-030-58278-4\_13.
6. SLOW-SCIENCE.org — Bear with us, while we think. <http://slow-science.org/>.
7. Gosselain, O. *Slow Science – La désexcellence*. (2015).

8. Stengers, I. & James, W. *Une autre science est possible! manifeste pour un ralentissement des sciences*. (La Découverte, 2013).
9. Malcolm, N. Sinking in a sea of words. As academic journals proliferate. *The Independent Sunday* (1996).
10. Coutellec, L. *La science au pluriel: essai d'épistémologie pour des sciences impliquées*. (Éditions Quae, 2015).

## DIFFUSION ET PROMOTION DE LA METHODE SCIENTIFIQUE ET DES SCIENCES

### Co-Animateurs-Animatrice :

- Thomas Guillemaud (UMR ISA, INRAE, Nice)
- Denis Bourguet (UMR CBGP, INRAE, Montpellier)
- Thomas Durand (ASTEC, Nancy)
- Marc-André Selosse (ISYEB, MNHN, Paris)

Durant les cinq dernières années, la volonté du monde scientifique « d'ouvrir la science » à la société est à l'ordre du jour de nombreuses institutions de recherche, d'agences de financement de projets de recherche et de la commission européenne. Ce souhait d'une science ouverte est partagé par de nombreux acteurs, que ce soit par les chercheurs eux-mêmes, producteurs des connaissances, ou par ceux qui s'en emparent, journalistes, médecins, enseignants, pouvoirs publics et décideurs politiques, commissions d'évaluation des chercheurs et de la recherche, et simples citoyens.

Dernièrement, la crise sanitaire mondiale de la Covid-19 a définitivement démontré l'importance d'une science ouverte, permettant une diffusion rapide et sans entrave des résultats des recherches, et offrant à tous ces acteurs les informations nécessaires pour mieux comprendre et appréhender la situation. La science ouverte doit toutefois rester compatible avec le "temps de la science" (l'évaluation et l'amélioration des articles scientifiques demandent du temps) qui n'est pas toujours compatible avec l'urgence médiatique.

La disponibilité des résultats, des données et des analyses qui les sous-tendent permettent en outre un regard critique sur la qualité des études réalisées par les chercheurs et, par là même, le degré de confiance que tout un chacun peut leur accorder.

Cette ouverture reste limitée (ex : en France, seulement 56% des articles publiés en 2019 sont librement accessibles) car elle est en conflit avec les intérêts des éditeurs des journaux scientifiques qui assurent la publication des résultats de recherche. Une petite fraction sont des éditeurs commerciaux et 4 d'entre eux forment actuellement un oligopole publiant plus de 50% des articles scientifiques, totalisant près de 40% de part de marché et affichant des marges bénéficiaires proches de 40%. Or, les articles publiés par ces éditeurs ne sont pas en accès libre : leur consultation nécessite un abonnement institutionnel ou le paiement en ligne. Une partie des journaux des éditeurs commerciaux publient les articles en libre accès, mais à la condition que les auteurs paient, via leurs institutions, des frais de publication de l'ordre de 2000 à 3000€, ce qui n'est souvent pas possible. Cette situation n'est clairement pas tenable ; des changements majeurs sont amorcés et d'autres sont certainement à venir.

Mais si le processus de la science ouverte autorise l'accès aux résultats de la recherche scientifique à tous, il reste que la difficulté de lecture des écrits publiés, hyperspécialisés et en langue anglaise pour la plupart, limite fortement leur diffusion auprès des non-spécialistes. La médiation scientifique est alors le maillon nécessaire entre le monde de la recherche et la société. Ainsi, parallèlement à l'ouverture des scientifiques sur le monde, de très nombreuses nouvelles initiatives de médiation et diffusion de la culture scientifique fleurissent ces dernières années (chaînes YouTube, blogs scientifiques, ouvrages et articles de vulgarisation, journaux scientifiques vulgarisés...). Des formations au journalisme scientifique ont vu le jour dans la plupart des grandes écoles de journalisme. Les chercheurs eux-mêmes, producteurs de ces connaissances, sont de plus en plus nombreux à s'engager dans des actions à destination du grand public, en vulgarisant leurs résultats. Ils sont aussi de plus en plus soutenus dans leurs actions par leurs institutions et laboratoires, et les commissions d'évaluation apprécient et évaluent l'existence d'un volet médiation scientifique dans les activités des équipes. Les grandes institutions de recherche proposent à la lecture de nombreux communiqués de presse sur leurs sites internet, et multiplient les actions et publications de médiation destinées au grand public (ex : le CNRS avec son journal <https://lejournel.cnrs.fr/grand-public>, l'INRAE <https://www.inrae.fr/apprendre-comprendre>, ou encore le magazine de l'INSERM <https://www.inserm.fr/information-en-sante/magazine-science-et-sante>). La médiation scientifique est ainsi devenue une activité incontournable de la recherche et de l'enseignement supérieur, et est de plus en plus valorisée dans les carrières des chercheurs et les évaluations des équipes, au même titre que les activités de recherche ou d'enseignement.

**Les thèmes suivants, non exhaustifs, pourraient être abordés lors de cet atelier :**

Quelles actions/initiatives sont mises en œuvre par les institutions pour favoriser une plus grande ouverture des données et des résultats scientifiques ? Comment coupler cette ouverture avec un moindre coût pour les institutions de recherche ? Quels processus et outils doivent être mobilisés pour une "bonne" vulgarisation et d'ailleurs, qu'est-ce qu'une "bonne" vulgarisation ? Quels nouveaux canaux de diffusion imaginer demain ? Comment prendre en compte dans les évaluations (des instituts, des chercheurs), l'implication des chercheurs dans la science ouverte et dans la diffusion/vulgarisation de leurs recherches ? Comment éviter l'instrumentalisation des scientifiques, de leurs données et de leurs discours ? Comment limiter les rumeurs, déjouer les fake news et favoriser la construction d'un regard critique ?

**CS INEE :** David Giron, Alain Queffelec

**CNRS-INEE :** Agathe Euzen, Nicolas Teyssandier