



>

EXPERTISE ET SYNTHÈSE



**Puzzling Biodiversity**  
Pieces of experts advices for friendly practices ranking

Synthétiser l'expertise  
pour identifier les pratiques  
favorables à la biodiversité

La méthode : concepts  
et protocole





Sommaire

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Note sur l'écriture                                                    | 4  |
| Note sur cette publication                                             | 4  |
| Résumé exécutif                                                        | 5  |
| Introduction                                                           | 6  |
| Glossaire                                                              | 8  |
| Partie 1. La méthode Puzzling Biodiversity                             | 10 |
| 1.1 Elements conceptuels fondateurs                                    | 10 |
| 1.2 Vue d'ensemble de la méthode                                       | 12 |
| 1.3 Question de recherche et postulats                                 | 14 |
| Partie 2. Le protocole                                                 | 16 |
| 2.1 Construire la taxonomie des pratiques favorables à la biodiversité | 16 |
| 2.2 Évaluer les pratiques par positionnement relatif                   | 19 |
| 2.3 Établir le classement de référence                                 | 25 |
| 2.3.4 Construction du classement de référence                          | 29 |
| Partie 3. Bilan et limites de la méthode                               | 30 |
| 3.1 Synthèse : atouts, limites et pistes d'amélioration                | 30 |
| 3.2 Conditions de validité et limites transversales                    | 31 |
| 3.3 Comparaison avec les méthodes existantes et proposition d'usages   | 32 |
| Conclusion                                                             | 33 |
| Annexes                                                                | 34 |
| Annexe A — Questionnaire d'inscription                                 | 34 |
| Annexe B — Compléments de la méthode statistique                       | 36 |
| Liste des acronymes                                                    | 38 |
| Liste des figures                                                      | 38 |
| Liste des tableaux                                                     | 38 |



## Note sur l'écriture

---

Conformément aux usages récents de la littérature scientifique francophone, le masculin générique est utilisé dans ce rapport pour désigner indifféremment les femmes et les hommes. Les formulations épicènes (« la communauté scientifique », « les personnes ayant évalué », etc.) sont privilégiées chaque fois qu'elles n'alourdissent pas la lecture.

## Note sur cette publication

---

Ce rapport présente la méthode Puzzling Biodiversity développée et appliquée par le consortium PRATIC Biodiversity : ses concepts et son protocole. Elle a été éprouvée au cours d'une preuve de concept réalisée en 2024-2025 sur deux socio-écosystèmes d'Europe occidentale ; les résultats sont accessibles dans le document Preuve de concept : application aux socio-écosystèmes « Forêts exploitées » et « Terres arables » qui complète celui-ci. Cette première application a mis en évidence plusieurs axes d'amélioration qui viendront progressivement enrichir et ajuster les éléments présentés dans ce rapport au fil des prochaines campagnes. Des éléments de cette application (visuels, résultats préliminaires...) viennent illustrer la méthode et son potentiel scientifique.

## Résumé exécutif

---

Puzzling Biodiversity est un des deux volets scientifiques du programme de recherche PRATIC Biodiversity, conduit par le consortium associant le Muséum national d'Histoire naturelle, Carbone 4 et la Fondation pour la recherche sur la biodiversité. Il vise à produire, pour un socio-écosystème donné, un classement de référence des pratiques favorables à la biodiversité selon leur gain de biodiversité attendu, cela à partir d'une consultation structurée d'experts scientifiques. Ce gain désigne l'amélioration de l'état de la biodiversité qu'une pratique permet d'espérer, estimée par comparaison à une situation de référence sans effort particulier et relativement aux gains attendus des autres pratiques considérées.

L'évaluation de la biodiversité reste un exercice exigeant. La mesure directe est coûteuse et difficile à manipuler ; la modélisation suppose des hypothèses fortes et des données qui ne sont pas toujours disponibles. Puzzling Biodiversity propose une voie complémentaire : exploiter le capital de connaissance déjà accumulé chez les experts du domaine — scientifiques d'un côté, praticiens de l'autre — pour produire un classement relatif des pratiques de gestion favorables à la biodiversité.

La méthode développée par le consortium repose sur trois éléments conceptuels fondateurs : (i) une approche indirecte d'évaluation des gains de biodiversité à dire d'experts, (ii) une unité d'évaluation centrée autour d'une pratique de gestion, et (iii) un exercice coopératif, participatif et transdisciplinaire. À travers trois étapes clés – la production d'une taxonomie de pratiques par des praticiens, son évaluation par des experts scientifiques et son analyse statistique – et d'une plateforme web dédiée, Puzzling Biodiversity permet d'aboutir à un classement de référence des pratiques.

Ce classement porte sur un socio-écosystème (par exemple : forêt exploitée en Europe tempérée occidentale) dans son ensemble et ne tient pas compte des spécificités écologiques d'un site donné. Sa lecture, combinée à la connaissance qu'ont les acteurs de terrain de leur contexte local, peut être utile à différents usages et pour différents acteurs de la biodiversité : outil d'aide à la décision, de pilotage, voire de certification. Puzzling Biodiversity offre ainsi un outil rapidement mobilisable, lisible et orienté vers le maintien ou la mise en œuvre de pratiques en faveur de la biodiversité.

La méthode a été éprouvée par une première application conduite en 2024-2025 sur deux socio-écosystèmes d'Europe occidentale : les résultats sont présentés dans un document dédié. Sa transparence méthodologique — taxonomies, protocole et analyses statistiques publiées en accès libre — vise à permettre à tout acteur d'examiner et de reproduire la démarche.



# Introduction

---

Le programme PRATIC Biodiversity vise à répondre à un besoin croissant d'outils permettant d'évaluer de manière transparente et opérationnelle l'incidence des actions anthropiques sur la biodiversité. Il se concentre plus particulièrement sur les effets des pratiques dites « favorables à la biodiversité ». Face à la complexité du vivant et à la diversité des contextes écologiques et socio-économiques, il apparaît nécessaire de disposer d'une méthode capable d'éclairer les décisions des gestionnaires et des acteurs territoriaux tout en s'appuyant sur le croisement des connaissances scientifiques et techniques disponibles.

Ce besoin s'est trouvé renforcé par l'adoption, lors de la COP15 (2022), du cadre mondial de la biodiversité de Kunming-Montréal qui appelle un effort de financement estimé à 200 milliards de dollars par an et a favorisé la multiplication de propositions méthodologiques d'évaluation de la biodiversité. C'est dans ce contexte que s'inscrit le programme PRATIC Biodiversity, dont la réflexion a débuté dès 2021 et dont le développement effectif a été conduit entre 2024 et 2025. Puzzling Biodiversity, premier volet de ce programme, propose une approche à dire d'experts, distincte des méthodes de mesure directe ou de modélisation les plus courantes mais complémentaire à celles-ci.

Le projet s'intéresse aux écosystèmes inscrits dans des trajectoires de gestion et/ou exploités par les humains. Ces systèmes ne peuvent être dissociés des actions humaines qui les façonnent ; c'est pourquoi ils sont désignés ici sous le terme de « **socio-écosystèmes** » — ce n'est pas directement leur état écologique qui est évalué, mais comment l'état de la biodiversité dépend des pratiques de gestion qui s'y déploient.

---

Le projet repose sur la notion de **pratique favorable à la biodiversité**, entendue comme une thématique de gestion regroupant un ensemble cohérent d'actions visant à augmenter la capacité d'accueil du socio-écosystème envers la biodiversité.

Dans ce cadre, l'axe de recherche Puzzling Biodiversity propose une méthode d'évaluation fondée sur l'**expertise scientifique et pratique**, dite « à dire d'experts » (ou : « fondée sur le jugement d'experts »). Cette méthode vise à construire, pour chaque socio-écosystème, une taxonomie de pratiques favorables à la biodiversité, rédigées par les praticiens (experts techniques) du système étudié. Les **gains de biodiversité attendus** suite à la mise en œuvre de ces pratiques sont ensuite estimés par des experts scientifiques de la biodiversité. L'ambition est de fournir un référentiel transparent, contextualisé et utile à l'aide à la décision, tout en rendant explicites les connaissances, les consensus et les incertitudes qui sous-tendent l'évaluation. Ce référentiel, lorsqu'il aboutit à un niveau de consensus évalué statistiquement et jugé suffisant par les utilisateurs, produit un « **classement de référence** ».





# Glossaire

Ce glossaire fixe le vocabulaire utilisé dans l'ensemble du rapport. Les termes définis ici sont employés avec la même acception tout au long du document.

**La lecture des termes de ce glossaire en amont de la consultation du rapport est encouragée ; elle facilite la compréhension des éléments conceptuels de Puzzling Biodiversity.**

## Biodiversité

Désigne, dans ce rapport, l'ensemble du « tissu vivant planétaire » (Robert Barbault, 2010), à tous niveaux d'organisation (du gène au paysage) et selon toutes ses dimensions (composition, structure, fonction, évolution). Cette définition large est délibérée : elle permet de poser la même question aux experts évaluateurs quel que soit leur connaissance de la biodiversité issue de leur champ propre.

## Classement de référence

Résultat-cible de la méthode : pour un socio-écosystème donné, ordonnancement consensuel des pratiques et de leurs niveaux selon le gain de biodiversité attendu, établi à partir d'une consultation suffisamment large d'experts scientifiques, permettant d'établir la robustesse statistique du consensus. C'est ce classement que la méthode vise à produire.

## Consensus

Convergence des évaluations entre experts indépendants. Sa robustesse est appréciée par des indicateurs statistiques détaillés en annexe (concordance des valeurs, concordance des rangs, structure des dissensus).

## Experts scientifiques

Personnes mobilisées pour classer les pratiques et les niveaux selon leur gain de biodiversité attendu. Chercheurs et professionnels hors recherche, dont l'activité s'exerce dans le champ de l'écologie scientifique au sens large.



## Gain de biodiversité attendu

Amélioration de l'état de la biodiversité associée au passage du niveau 0 à un niveau donné d'une pratique, telle qu'estimée par les experts évaluateurs. Il s'agit d'une espérance, évaluée pour des conditions moyennes du socio-écosystème, exprimée dans une échelle indexée sur le gain attendu de la pratique évaluée comme la plus efficace.

## Niveau

Degré de réalisation d'une pratique, ordonné par ambition croissante en faveur de la biodiversité. Chaque pratique est décrite en trois à cinq niveaux, du niveau 0 (absence d'effort : minimum légal, gestion conventionnelle, ou absence de l'élément écologique considéré) au niveau maximum (réalisation la plus ambitieuse compatible avec la fonction sociale du socio-écosystème considéré).

## Praticiens

Personnes mobilisées pour la rédaction des taxonomies. Praticiens du socio-écosystème considéré : gestionnaires, exploitants, conseillers techniques. Leur expertise est issue du terrain. Ils savent ce qu'il est faisable de mettre en place.

## Pratique favorable à la biodiversité (ou « pratique »)

Action de gestion, d'exploitation ou d'aménagement, déployée délibérément par un praticien dans un socio-écosystème donné et dont la mise en œuvre est censée améliorer l'état de la biodiversité. Exemple en forêts exploitées : maintenir des gros bois et très gros bois vivants. Exemple en terres arables : mettre en place et entretenir des bandes enherbées le long des champs cultivés.

## Socio-écosystème

Système composé d'un écosystème (biodiversité) en interaction et en équilibre dynamique avec les usages humains qui lui sont associés (gestion, exploitation, aménagement). Le préfixe « socio- » rappelle que l'écosystème n'est pas considéré isolément, mais à travers les pratiques qui s'y déploient — lesquelles dépendent à la fois des conditions pédoclimatiques et de facteurs socio-économiques. Les deux socio-écosystèmes étudiés au cours de la preuve de concept sont les « Forêts exploitées » et les « Terres arables » d'Europe occidentale sous climat tempéré.

## Taxonomie de pratiques

Liste structurée des pratiques favorables à la biodiversité applicables à un socio-écosystème donné, accompagnée de la description de leurs niveaux. Une taxonomie compte typiquement entre 15 et 20 pratiques.



# Partie 1.

## La méthode Puzzling Biodiversity

### 1.1 Elements conceptuels fondateurs

#### 1.1.1 Une approche indirecte

Évaluer le gain de biodiversité associé à une pratique est un exercice difficile. Deux grandes familles d'approches dominent aujourd'hui :

- La **mesure directe *in situ*** compare l'état de la biodiversité avant et après mise en œuvre d'une action. Elle est coûteuse, ne fournit des résultats qu'après un certain délais et se heurte à plusieurs difficultés : choisir les éléments de biodiversité à mesurer — qui ne peut être « la biodiversité dans son ensemble » —, distinguer l'effet d'une potentielle erreur de mesure ou encore l'effet de l'action de l'évolution naturelle du système (Wauchope *et al.*, 2024). Il faut aussi tenir compte de la forte variabilité des conditions au moment de la mesure (météo, saison, moment de la journée), qui peut affecter les résultats indépendamment de l'action évaluée, et amener à comparer des gains réalisés dans des contextes différents.

- La **modélisation** infère un effet sur la biodiversité à partir de pressions identifiées et de relations présumées causales. Elle demande un volume important de données, qui ne sont pas toujours disponibles, repose sur des hypothèses parfois fortes, et reste souvent opaque pour les utilisateurs non-experts. Cette opacité est d'autant plus marquée pour les modèles les plus complexes dont les fondements peuvent être difficiles à expliciter, y compris par les experts eux-mêmes, ce qui complique leurs usages.

Ces approches ont évidemment beaucoup d'usages et d'applications mais elles répondent mal à la demande de disposer d'un outil simple, robuste et rapidement mobilisable pour comparer entre elles différentes actions en faveur de la biodiversité et orienter les choix de pratiques de gestion, notamment pour établir des trajectoires et objectifs de conservation ou de restauration de la biodiversité ordinaire.

Puzzling Biodiversity propose une voie complémentaire : **capitaliser sur la connaissance déjà disponible chez les différents experts de la biodiversité** — experts scientifiques d'un côté, praticiens de l'autre — pour produire un classement comparatif de pratiques favorables à la biodiversité dans un socio-écosystème donné. Cette connaissance existe : diffuse, parfois implicite, elle représente le capital accumulé par des années de recherche, de pratique, de terrain et d'observations. Il est fréquent que les experts développent des intuitions, nourries par ces savoirs, sans pouvoir toujours les justifier explicitement. La méthode ne cherche donc pas à objectiver chaque intuition prise isolément, mais à mesurer leur degré de convergence. C'est cette **concordance entre experts** qui constitue le cœur de l'approche. La méthode propose une synthèse fondée sur un protocole de recueil standardisé, dont le résultat se présente sous une forme opérationnelle.

L'approche indirecte par les pratiques permet de s'affranchir d'une part du choix – partial, relatif aux valeurs et nécessairement simplificateur – d'éléments spécifiques de la biodiversité pour la décrire ; d'autre part d'une notion de valeur de référence de l'état de la biodiversité. En outre, elle peut être aisément partagée avec les acteurs de terrain (pratiques connues voire déjà déployées).

Elle peut, si nécessaire, être révisée pour intégrer de nouvelles connaissances sur l'effet des pratiques ou des évolutions notables des pratiques usuelles — une telle révision impliquant cependant de reprendre tout ou partie du protocole de rédaction de la taxonomie et de la campagne d'évaluation.

#### 1.1.2 La pratique comme unité d'évaluation

Le choix de retenir la « pratique » comme unité d'évaluation — plutôt qu'une espèce, un compartiment de biodiversité ou un indicateur synthétique — est une décision méthodologique structurante.

En se référant à la définition retenue par l'IPBES, une pratique est une unité d'action concrète, identifiable et reproductible sur le terrain. Parce qu'elle est observable et vérifiable, elle constitue un **objet commun de dialogue entre les différents acteurs de la biodiversité**. Elle est utile à plusieurs communautés car elle peut être abordée de différentes manières en fonction des usages considérés : cadre opérationnel de mise en œuvre d'une pratique pour les praticiens, description des leviers susceptibles d'influencer la biodiversité pour les experts scientifiques, support pour apprécier les efforts humains, techniques et économiques associés à une trajectoire d'action pour les décideurs politiques.

Dans la méthode Puzzling Biodiversity, une **pratique est décomposée en différents niveaux de mise en œuvre**, d'un niveau 0 qui illustre l'absence d'effort par rapport aux pratiques conventionnelles et/ou respectant uniquement le minimum légal en vigueur, à un niveau maximum, exigeant mais accessible, qui décrit un gain de biodiversité maximal atteignable. La décomposition d'une pratique en niveaux de mise en œuvre permet de rendre compte du caractère progressif des actions en faveur de la biodiversité. Une pratique est ainsi considérée comme “favorable à la biodiversité” dès lors que des niveaux de mise en œuvre appellent à une évolution positive de l'état de la biodiversité. Le gain de biodiversité attendu représente un potentiel d'amélioration relatif, d'un niveau de réalisation à un autre, d'une pratique à une autre.

La pratique est ainsi utilisée comme unité dans cette méthode ; elle peut être associée à une valeur de gain de biodiversité et est comparable au sein d'un même socio-écosystème. À l'inverse, les pratiques de socio-écosystèmes différents ne sont pas comparables entre elles ; les classements obtenus restent propres au socio-écosystème pour lequel ils ont été construits, dans l'état actuel de la méthode. Le socio-écosystème constitue ainsi le périmètre de référence de chaque classement.

#### 1.1.3 Une méthode coopérative, participative et transdisciplinaire

La méthode Puzzling Biodiversity s'inscrit dans le champ des démarches coopératives, participatives et transdisciplinaires.

En premier lieu, le protocole repose sur une participation multi-partite et représentative des acteurs de la biodiversité qui permet de mobiliser et d'articuler un ensemble de connaissances disponibles. Ici, ces connaissances sont collectées et intégrées selon deux modalités de participation différentes et à travers deux typologies d'acteurs. D'une part, l'élaboration de taxonomies de pratiques repose sur une **démarche de concertation entre praticiens** afin de construire une description partagée des pratiques. Puis, la phase d'évaluation est réalisée par des **contributions individuelles et indépendantes d'experts scientifiques**. La combinaison des savoirs, des modes de contributions et la variété d'acteurs impliqués permet ainsi de produire un référentiel robuste, à la fois scientifiquement fondé et directement mobilisable par les acteurs de terrain, selon un protocole transparent, reproductible et documenté.

Une **plateforme d'évaluation**, développée par l'unité de service MOSAIC du MNHN-SU spécialisée dans les sciences participatives, a été méticuleusement pensée pour favoriser la participation du plus grand nombre. L'organisation des informations (structure, ergonomie, visuels) ainsi que des consignes claires et directives permettent à chaque expert de se familiariser rapidement avec le fonctionnement de la plateforme, de rester concentré, et de s'engager dans un parcours long. La plateforme est également construite pour recueillir l'ensemble des données nécessaires aux analyses scientifiques du programme de recherche PRATIC Biodiversity.

Enfin, le protocole comprend une **phase de mobilisation de l'expertise en ligne** pour toucher le plus grand nombre d'experts possible. Cette façon de procéder, si elle n'est pas systématique ni exhaustive, allie coûts modérés et risque moyen de biais (Navarro *et al.*, 2020), deux caractéristiques adaptées au déploiement rapide de la méthode Puzzling Biodiversity.



1.2 Vue d'ensemble de la méthode

Pour un socio-écosystème donné, la méthode vise à produire un classement de référence de pratiques favorables à la biodiversité, assorti, pour chaque pratique, de niveaux de mise en œuvre et, pour chaque niveau, d'une estimation semi-quantitative du gain biodiversité attendu. La production de ce classement se déroule en trois étapes principales.

1.2.1 Etablir une taxonomie de pratiques

Cette étape permet de lister et décrire des pratiques et leurs niveaux de mise en œuvre. Un **groupe de praticiens représentatifs** des acteurs du socio-écosystème étudié — gestionnaires, exploitants, conseillers... — établit une liste des pratiques favorables à la biodiversité applicables au socio-écosystème, décrit pour chacune les niveaux de mise en œuvre puis soumet ce travail à la relecture d'un comité scientifique *ad hoc*. La taxonomie ainsi définie constitue le matériel évalué à l'étape suivante (voir un exemple en Fig. 1A et 1B).

|     | Pratiques                                                                                                                    |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1  | Gestions des éléments écologiques remarquables dans la SAU : arbres isolés, bosquets, bâtis entretenus pour la faune, murets |
| P2  | Mares et plans d'eau                                                                                                         |
| P3  | Bandes tampons en bord de cours d'eau                                                                                        |
| P4  | Prairies permanentes (plus de 5 ans)                                                                                         |
| P5  | Prairies temporaires                                                                                                         |
| P6  | Bordures de champs                                                                                                           |
| P7  | Haie bocagère                                                                                                                |
| P8  | Agroforesterie intraparcellaire                                                                                              |
| P9  | Réduire les pressions exercées par le travail du sol                                                                         |
| P10 | Réduire l'impact, sur la faune, des travaux et de la récolte (hors travail du sol)                                           |
| P11 | Diversification spatiale des cultures                                                                                        |
| P12 | Réduction de la surface des parcelles (prairies exclues)                                                                     |
| P13 | Diminution du drainage                                                                                                       |
| P14 | Réduire l'utilisation des herbicides de synthèse                                                                             |
| P15 | Réduire l'utilisation des insecticides de synthèse                                                                           |
| P16 | Réduire l'utilisation des fongicides de synthèse                                                                             |
| P17 | Fertilisation                                                                                                                |

| Niveaux | Pratique : Bordures de champs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0       | Absence de bordures de champs extérieures et/ou gestion intensive des bordures de champs.                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1       | Bande d'au minimum 1m de large, pas d'utilisation d'herbicides, de pesticides ou de fertilisants, absence d'entretien d'avril à septembre. Pas de retournement ou de labour sur la bordure. Composition spécifique : favoriser la flore spontanée et les espèces locales.                                                                         |
| 2       | Bande d'au minimum 2m de large, entretien une fois par an maximum, fauche à plus de 15 cm du sol. Exportation des résidus de fauche.<br><br>En cas de bordures dites « adventices », réalisation d'une bande séparative entre le bord du champ et l'espace cultivé de 80cm minimum (entretien mécanique uniquement avec exportation des fauches). |
| 3       | Diversification d'implantation (bordure d'infrastructures agroécologiques, au milieu de cultures), de structure et de mode d'entretien des bordures de champs, gestion spatiale différenciée. En cas de semis ou re-semis : mélange de graminées/dicotylédones/légumineuses. Favoriser une floraison étalée.                                      |
| 4       | Bordure d'au minimum 5m de large, entretien tous les deux ans.                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

FIGURE 1A ET 1B - TAXONOMIE DES PRATIQUES ; A – LISTE DES PRATIQUE ; B – EXEMPLE D'UNE PRATIQUE

1.2.2 Recourir au dire d'experts scientifiques par la consultation en ligne

Cette étape repose sur la mobilisation de l'expertise scientifique la plus large possible afin d'accéder rapidement à des connaissances complémentaires : scientifiques et techniques, explicites et tacites, fondées sur des savoirs et des intuitions nourris par leurs parcours. Un ensemble d'**experts scientifiques, volontaires et bénévoles, chercheurs ou non**, recrutés grâce à des campagnes de communication, évalue la taxonomie à travers différentes actions, notamment : (i) en estimant pour chaque pratique les écarts de gain de biodiversité attendus suite à la mise en place des différentes actions contenues dans les niveaux de réalisations, (ii) en comparant les pratiques les unes par rapport aux autres selon le

gain de biodiversité attendu (voir Fig. 2). L'évaluation s'effectue individuellement, sur une plateforme en ligne dédiée. La méthode n'est pas itérative : chaque expert répond indépendamment, sans connaître les réponses des autres ; ce sont les analyses statistiques *a posteriori* qui caractérisent le consensus et identifient les dissensus. Le fonctionnement du recueil se déroule en « campagne » et les experts peuvent répondre et modifier leurs réponses tout le long de la période.



FIGURE 2 - EVALUATION EN LIGNE DES PRATIQUES

Résumé des étapes progressives à réaliser pour assurer une participation complète  
- positionnement des niveaux / positionnement des pratiques / ajustement du classement de l'évaluateur



### 1.2.3 Analyse statistique du consensus et/ou du dissensus

Cette étape permet d'identifier la convergence des évaluations. Les valeurs sont issues des coordonnées des pratiques et leurs niveaux lors de l'exercice de positionnement. Il est possible d'identifier des lots de pratiques systématiquement mieux classées que d'autres, il est également possible d'identifier des profils d'experts associés aux patrons de réponses. La méthode est **semi-quantitative** : l'exercice permet aux experts de positionner des pratiques les unes par rapport aux autres sans préciser d'unité explicite, mais les résultats sont quantitatifs, et peuvent s'exprimer sur une échelle avec une unité arbitraire, par exemple de 0 à 100. L'agrégation des évaluations, lorsqu'elle est consensuelle et produite par un nombre d'experts représentatif de la communauté, produit un classement de référence.

### 1.3 Question de recherche et postulats

Le développement de Puzzling Biodiversity, et de la preuve de concept associée, permet de répondre à la question de recherche : « **Est-il possible d'établir, à dire d'experts, un classement de référence consensuel des pratiques et de leurs niveaux, issu d'un exercice de positionnement relatif en fonction de leurs impacts positifs pour la biodiversité ?** ». La réponse repose sur l'analyse de l'interclassement des pratiques entre elles et des niveaux de mise en œuvre au sein de chacune. Le consensus, s'il existe, est d'autant plus précis qu'un grand nombre d'experts participe aux évaluations, d'autant plus robuste que l'expertise est diversifiée, d'autant plus fiable que le niveau d'expertise est qualifié.

Pour répondre à cette question, la méthode repose sur quatre postulats.

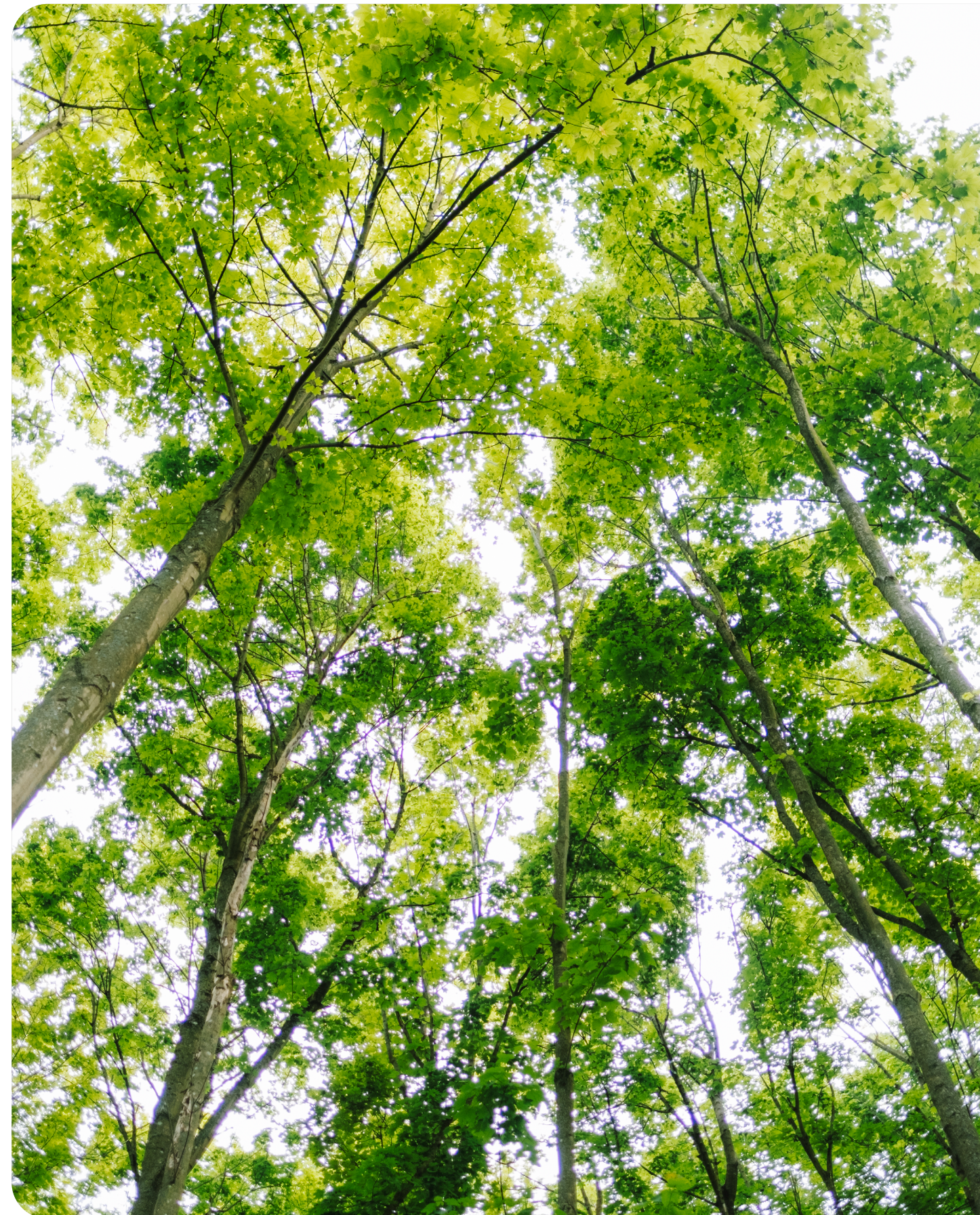
**1 — La biodiversité est considérée dans son ensemble.** La biodiversité dans son ensemble – tous niveaux d'organisation (du gène au paysage) et toutes dimensions (composition, structure, fonction, évolution) confondus – est appréhendée comme le « tissu vivant de la planète » (Robert Barbault, 2010), sans la réduire à un sous-ensemble. Ce choix transfère aux experts évaluateurs la responsabilité d'intégrer, chacun à partir de son expérience et champ propres, la pluralité des dimensions de la biodiversité pour faire l'exercice de classement proposé.

**2 — Un projet peut être décomposé en pratiques et celles-ci en niveaux.** Un projet ou une action de terrain en faveur de la biodiversité, déployé sur un espace délimité, peut être décrit comme un ensemble de pratiques ; chaque pratique peut être décomposée en niveaux croissants de mise en œuvre et de gains de biodiversité associés. Cette structuration rend possible l'évaluation comparative et le calcul de gains de biodiversité associés à la mise en place d'un projet. Le potentiel d'une pratique correspond à l'écart entre le niveau minimum, représentant une situation de référence sans effort particulier en faveur de la biodiversité, et le niveau maximum, correspondant à un degré d'ambition élevé mais opérationnel en matière d'amélioration de la biodiversité.

**3 — Les pratiques sont indépendantes entre elles (approximation).** Les pratiques sont considérées indépendantes les unes des autres : le gain de biodiversité d'un projet est approché par la somme des gains des pratiques qui le composent (« parcours principal » de l'évaluation, cf. 2.2.3), sans tenir compte des potentiels effets synergiques ou antagonistes. Ce postulat d'additivité des effets des pratiques est volontairement simplificateur. La méthode teste sa levée *via* une évaluation dédiée aux interactions entre pratiques (« premier parcours complémentaire » de l'évaluation, cf. 2.2.4).

**4 — L'effet des pratiques est indépendant du contexte écologique (approximation).** Le gain attendu d'une pratique est estimé pour un socio-écosystème étudié, sans tenir compte des caractéristiques locales d'un projet particulier (paysagères, pédologiques, géologiques, climatiques, etc.). Ce postulat peut être affiné *via* une évaluation dédiée (« second parcours complémentaire », cf. 2.2.4).

Les postulats 3 et 4 sont assumés comme première approximation pour rendre l'évaluation faisable, et la méthode est conçue pour pouvoir les lever progressivement.





# Partie 2.

## Le protocole

Le protocole établi par Puzzling Biodiversity repose sur trois étapes séquentielles dont la mise en œuvre est orchestrée par le consortium du projet et rythmée par des collaborations successives avec un large panel d'experts praticiens et scientifiques. Il regroupe une variété d'actions – concertations en groupes de travail, rédaction, analyse statistique, etc. – qui doivent pouvoir être appliquées à différents socio-écosystèmes et facilement adoptables par les experts impliqués dans l'élaboration de classements de référence.

### 2.1 Construire la taxonomie des pratiques favorables à la biodiversité

#### 2.1.1 Définir le socio-écosystème

Le socio-écosystème constitue le périmètre dans lequel la méthode s'applique. Sa définition oriente l'ensemble des étapes ultérieures. Un bon périmètre satisfait quatre conditions :

- Il est cohérent du point de vue **écologique** : un type d'écosystème (forêts, terres arables, prairies humides, etc.) inscrit dans un cadre pédoclimatique homogène — par exemple, le climat tempéré d'Europe occidentale.
- Il est cohérent du point de vue des **usages** : les modes d'exploitation et de gestion sont suffisamment proches pour que les praticiens se mettent d'accord sur une taxonomie commune.
- Il est suffisamment **cadré et précis** pour être décrit par une liste de 15 à 20 pratiques : au-delà, le socio-écosystème est sans doute trop vaste pour être traité par les experts et permettre la comparaison de pratiques.
- Enfin, il est suffisamment bien étudié pour être **associé à une communauté d'experts scientifiques** qui pourra être sollicitée.

#### 2.1.2 Cadrer la rédaction des taxonomies

Le cadrage de la rédaction des taxonomies a bénéficié des travaux antérieurs réalisés pour l'outil AgriBest, un outil d'auto-diagnostic (CDC-Biodiversité — La Coopérative Agricole de l'Ouest) qui a constitué une source d'inspiration, en particulier pour la structuration des pratiques en niveaux.

La qualité de la taxonomie conditionne la qualité de l'évaluation. Cette qualité repose sur plusieurs exigences, un **cahier des charges** à intégrer dès le cadrage du travail :

- Cibler un nombre de 15 à 20 pratiques (au-delà, le périmètre du socio-écosystème est reconsidéré).
- Structurer chaque pratique en trois à cinq niveaux réputés favorables à la biodiversité et ordonnés par gain de biodiversité croissant. Le niveau 0 est explicitement défini comme l'absence d'effort en faveur de la biodiversité ou le minimum légal.
- Expliciter les éléments techniques qui peuvent prêter à interprétation : seuils, définitions, indicateurs (par exemple la différence entre « gros bois » et « très gros bois »).
- Préciser pour chaque pratique une caractéristique spatiale permettant leur comparaison (par exemple un mètre linéaire de haie par hectare ou une surface de bandes enherbées par hectare).
- Fixer une référence temporelle cohérente pour l'ensemble des pratiques du socio-écosystème (par exemple un cycle forestier pour les forêts exploitées, une rotation de cinq ans pour les terres arables...).
- Harmoniser la formulation des pratiques : niveau de précision, structure de phrase, vocabulaire. Cette homogénéité conditionne la comparabilité que les experts évaluateurs auront à exercer lors de l'évaluation.
- Il est estimé que le calendrier d'élaboration des taxonomies prend 6 à 8 mois. Les 2 à 3 premiers mois se concentrent sur une bibliographie comparée de l'existant et le montage d'un groupe



de travail des praticiens concernés. Les 2 à 3 mois suivants consistent à élaborer les pratiques afin que la liste soit exhaustive, que les propositions soient concrètes, que les niveaux 0 soient comparables et que les actions contenues dans les niveaux soient graduelles. Suivant l'intérêt, le nombre de praticiens mobilisables, la qualité et la quantité de ressources mobilisables, cette étape peut être centrée autour d'une revue bibliographique ou de l'animation de groupe de travail. Les 2 mois restants servent à éprouver la qualité des propositions (voir Fig. 3).

#### 2.1.3 Constituer le groupe d'experts techniques

La rédaction de la taxonomie est confiée à un groupe de **praticiens du socio-écosystème** – gestionnaires, exploitants, conseillers techniques, animateurs de filière, etc. Leur rôle est triple : (i) identifier les pratiques favorables à la biodiversité dont la mise en œuvre est réaliste et opérationnelle dans le contexte considéré ; (ii) décrire les niveaux de mise en œuvre de chaque pratique ; (iii) veiller à la précision et à l'usage du vocabulaire métier. Ce groupe veille, sous l'égide du consortium PRATIC, à respecter le cahier des charges de la rédaction de la taxonomie.

La diversité du groupe est un facteur essentiel : différents profils d'organisations ; différents types d'exploitation ; différentes sensibilités. Cette diversité garantit que la taxonomie est un compromis susceptible d'être approprié par l'ensemble de la communauté professionnelle concernée, qu'elle est utile (plus-value par rapport à l'existant) et utilisable (ne s'écarte pas trop de l'existant).





### 2.1.4 Constituer le comité scientifique

Un comité scientifique *ad hoc* est constitué en parallèle. Composé d'**experts écologistes** issus de plusieurs disciplines et de plusieurs institutions, il assure la relecture critique de la taxonomie élaborée par les praticiens. Son rôle est de valider la cohérence scientifique des pratiques et des niveaux, d'identifier les niveaux dont la formulation n'apporterait pas de gain de biodiversité distinct, et de préciser, au besoin, la formulation. Il ne se substitue pas aux praticiens pour la rédaction : il l'évalue et en assure la robustesse scientifique.

La constitution du comité satisfait quatre conditions pour limiter les biais : (i) au moins cinq membres ; (ii) une diversité satisfaisante des disciplines et des taxons couverts ; (iii) une diversité des institutions représentées (pas d'organisme sur-représenté) ; (iv) le respect autant que possible de la parité.

### 2.1.5 Le déroulé de l'élaboration d'une taxonomie

Le groupe de praticiens produit une première version de la taxonomie au cours d'une série d'ateliers, en s'appuyant sur ses connaissances de terrain et sur la littérature disponible. L'équipe projet du programme PRATIC anime ces ateliers et garantit la conformité au cahier des charges. La première version est transmise au comité scientifique pour relecture. Des experts spécialistes externes peuvent être sollicités sur des points précis. L'équipe projet intègre les retours, harmonise la rédaction et finalise la taxonomie. La version finale est publiée en accès libre (*open access*) et *open source* puis intégrée sur la plateforme pour la phase d'évaluation en ligne.

À l'issue de cette étape, la rédaction de la taxonomie est figée : la formulation des pratiques et leurs niveaux n'est plus modifiée pendant la durée de la campagne d'évaluation.

### 2.2 Évaluer les pratiques par positionnement relatif

La seconde étape de la méthode Puzzling Biodiversity fait appel aux **experts scientifiques**, recrutés grâce à des campagnes de communication menées par les partenaires du programme PRATIC – annonces sur les réseaux sociaux, dans des newsletters, organisation de webinaires. En se connectant sur la plateforme web dédiée, et après avoir créé un compte, les experts sont amenés à évaluer les pratiques définies dans la taxonomie à travers un parcours principal et un parcours complémentaire.

#### 2.2.1 La plateforme web Puzzling Biodiversity

La **plateforme web Puzzling Biodiversity** a été développée par l'unité de service MOSAIC (Muséum national d'Histoire naturelle – Sorbonne Université), spécialisée dans le développement de plateformes numériques pour les sciences participatives. Son développement s'est particulièrement focalisé sur deux objectifs : rendre intuitif et fluide un exercice intrinsèquement complexe, tout en assurant la collecte de l'ensemble des données nécessaires aux analyses scientifiques du programme de recherche PRATIC.

Les principes de *design* retenus — organisation visuelle de type « bento », illustrations stylisées, palette de couleurs vives — résultent du travail conjoint de *webdesigners* et de deux ateliers de test réunissant une dizaine d'écologistes avant la mise en production. Ces ateliers ont permis d'évaluer l'ergonomie de la plateforme, la logique des différentes étapes, la clarté des consignes. Les retours ont conduit à améliorer l'accompagnement des utilisateurs grâce à des consignes plus explicites et directives, la possibilité d'accéder à des informations complémentaires, des rappels réguliers du cadre de la consultation ainsi que l'ajout d'une barre de progression couvrant l'ensemble du parcours d'évaluation. Une estimation du temps minimal nécessaire pour réaliser consciencieusement chaque étape a également été intégrée. Les phases de recette ont enfin permis d'identifier et de corriger plusieurs blocages avant la mise en ligne publique.

L'ensemble du parcours expérimental a ainsi été conçu pour encourager la participation du plus grand nombre d'experts en limitant la charge cognitive et en rendant les actions à réaliser aussi intuitives que possible. L'ergonomie de la plateforme, l'organisation des informations, les éléments visuels et les consignes visent à permettre une prise en main rapide, à maintenir l'attention des répondants tout au long d'un parcours relativement long et à favoriser la qualité des données recueillies.

### 2.2.2 Etape préliminaire : la création d'un compte

L'évaluation des pratiques par positionnement relatif est réalisée par les experts scientifiques. Pour pouvoir participer, ils doivent se créer un compte. Cette étape comprend un **questionnaire d'inscription en trois parties** (cf. [Annexe A – Questionnaire d'inscription](#)), conçu pour caractériser le profil des répondants.

La première partie recueille des informations sociodémographiques qui constituent un premier indicateur de la représentativité du panel d'experts. La deuxième porte sur les domaines d'expertise et les parcours professionnels afin de caractériser la diversité des profils et le niveau d'expertise mobilisé : les personnes sollicitées doivent disposer d'une **formation en écologie scientifique et exercer une activité professionnelle dans le domaine de la biodiversité** (recherche académique, entreprise, gestion de la nature, etc.). La troisième s'appuie sur le triangle des valeurs de la biodiversité proposé par l'IPBES et invite les répondants à se positionner vis-à-vis des différentes valeurs de la biodiversité. Cette information permet d'explorer si ces systèmes de valeurs sont associés à des différences dans les comportements de réponse. Enfin, les experts autoévaluent leur niveau de connaissance du socio-écosystème concerné sur une échelle de Likert allant de 1 à 5.

Une fois connecté, l'expert a accès au parcours d'évaluation. Il comporte trois étapes successives : le parcours principal et deux étapes supplémentaires, les parcours complémentaires. Il est à compléter sur la plateforme Puzzling Biodiversity. Les participations sont ouvertes pour une période de 6 à 8 semaines.

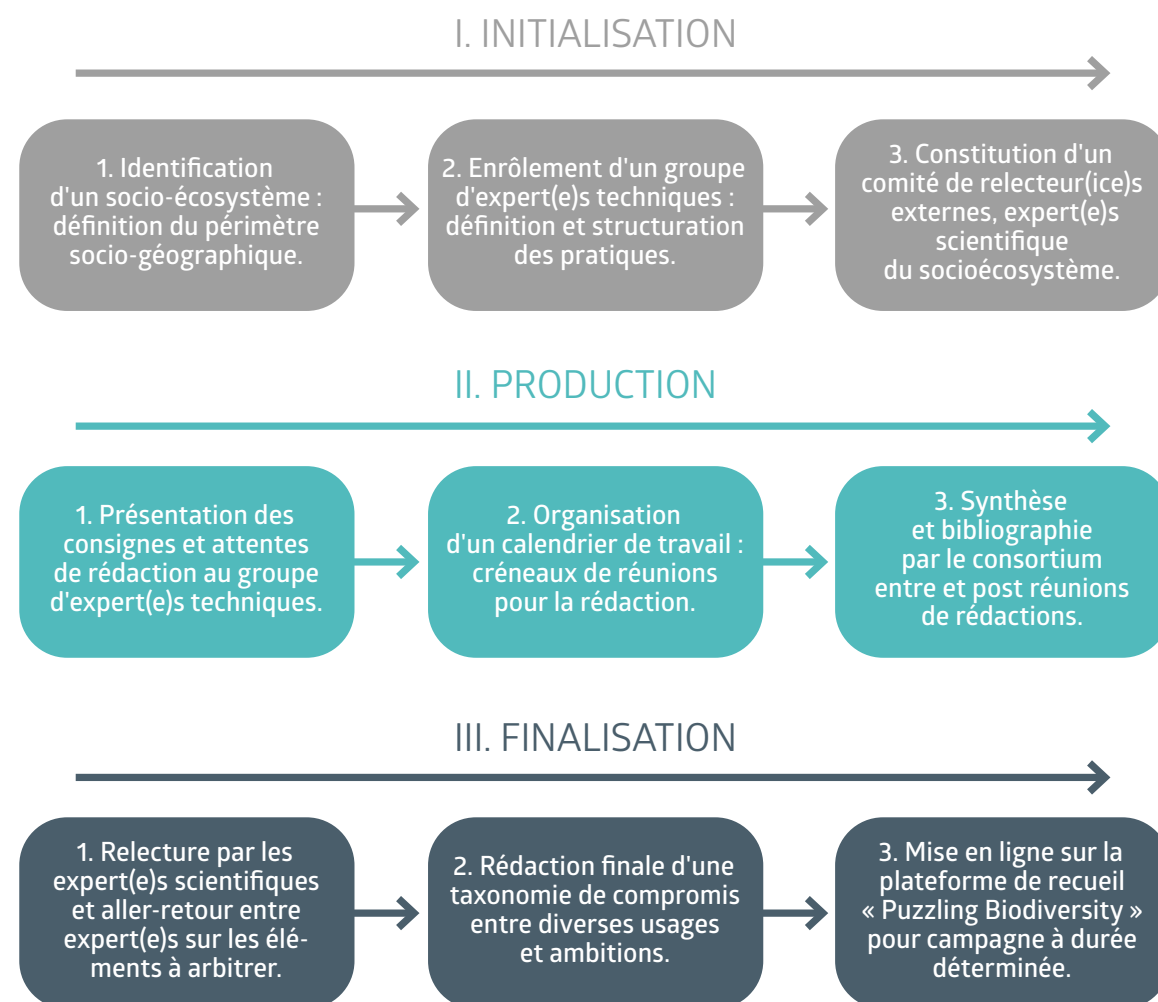


FIGURE 3 - LES ÉTAPES DE LA CONSTRUCTION D'UNE TAXONOMIE DE PRATIQUES





### 2.2.3 Le principe du positionnement relatif

Plutôt que de demander aux experts d'attribuer une note absolue à chaque pratique et chaque niveau de mise en œuvre — exercice difficile en l'absence de métrique et de référentiel partagés — la méthode repose sur le positionnement relatif, sur l'interclassement des pratiques entre-elles et l'interclassement des niveaux au sein d'une pratique. L'expert positionne les éléments les uns par rapport aux autres, sur un axe sans unité de « gain de biodiversité attendu ». L'écart entre deux positions reflète le gain de biodiversité estimé.

#### Étape 1 — Positionnement des niveaux à l'intérieur de chaque pratique.

L'expert prend connaissance des pratiques et des niveaux qui les composent. Pour chaque pratique, il repositionne les niveaux intermédiaires entre le niveau 0 (dont la valeur est fixée à 0) et le niveau maximum 4 ou 5 (dont la valeur est fixée à 1). **L'écart entre deux niveaux traduit le gain de biodiversité**

**attendu** lors du passage de l'un à l'autre. Les niveaux peuvent être superposés (si un niveau n'apporte pas de gain supplémentaire) et, sauf pour le niveau 0 et le niveau maximum, réordonnés (voir Fig. 4A et 4B). L'expert renseigne, pour chaque pratique, un niveau de confiance de son évaluation sur une échelle de Likert. L'intérêt est de l'amener à s'exprimer même en cas d'incertitude. Cette donnée permet ensuite de discerner des niveaux de fiabilité et de contribuer à évaluer la confiance sur les évaluations produites. L'expert peut aussi indiquer qu'il ne se sent pas en mesure d'évaluer une pratique : celle-ci est alors retirée de son parcours.

À noter : L'ordre dans lequel les pratiques sont présentées est aléatoire, propre à chaque expert. Cette randomisation neutralise les biais cognitifs — effets de primauté et de récence — qui pèseraient autrement sur l'évaluation.

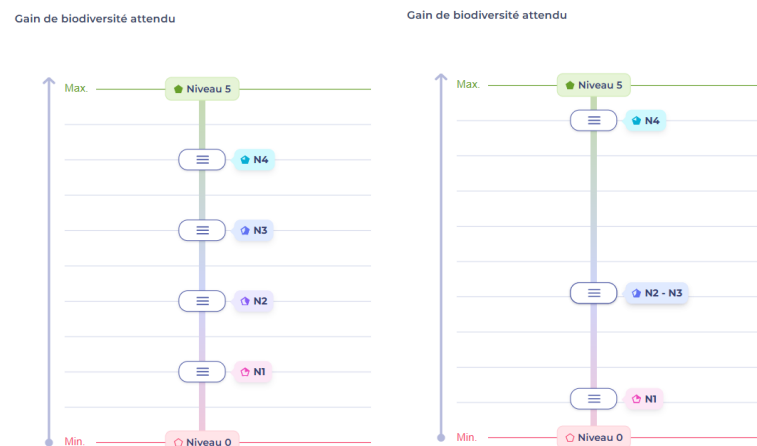


FIGURE 4A, 4B ET 4C - ECRANS D'ÉVALUATION PROPOSÉS À L'EXPERT : ÉTAPE D'INTRA-CLASSEMENT

#### Étape 2 — Positionnement des pratiques les unes par rapport aux autres.

À l'étape 2, l'ensemble des pratiques est rassemblé sur un axe vertical ; toutes les pratiques doivent être considérées comme réalisées dans leur entiereté, du passage du niveau 0 au niveau maximum. L'expert les positionne les unes par rapport aux autres selon le gain de biodiversité attendu. La pratique jugée la moins favorable prend la valeur minimale (borne inférieure de l'axe), et la plus favorable prend la valeur maximale (borne supérieure de l'axe) ; les autres pratiques sont à positionner entre ces deux extrêmes, et à distribuer proportionnellement à leur

efficacité présumée sur la biodiversité (voir Fig. 5). Suivant le principe de l'étape précédente, les pratiques sont initialement positionnées aléatoirement et avec des écarts homogènes. Elles peuvent être superposées. Un niveau de confiance pour l'ensemble du classement est aussi demandé.

À noter : Les pratiques sont pré-positionnées avec des écarts homogènes et un ordre aléatoire : l'absence de réordonnement des pratiques ou de trop faibles différences par rapport au positionnement initial est une donnée utilisée pour analyser la fiabilité d'un interclassement.

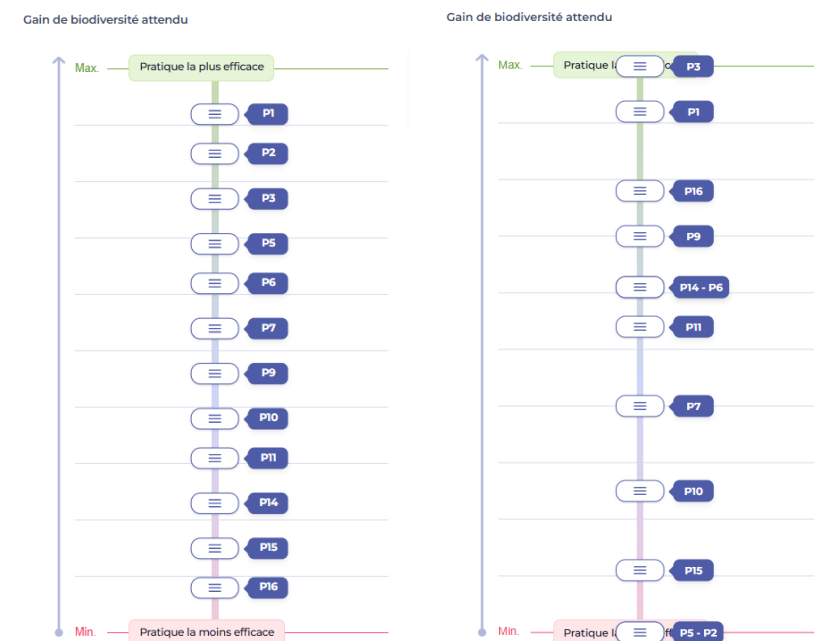
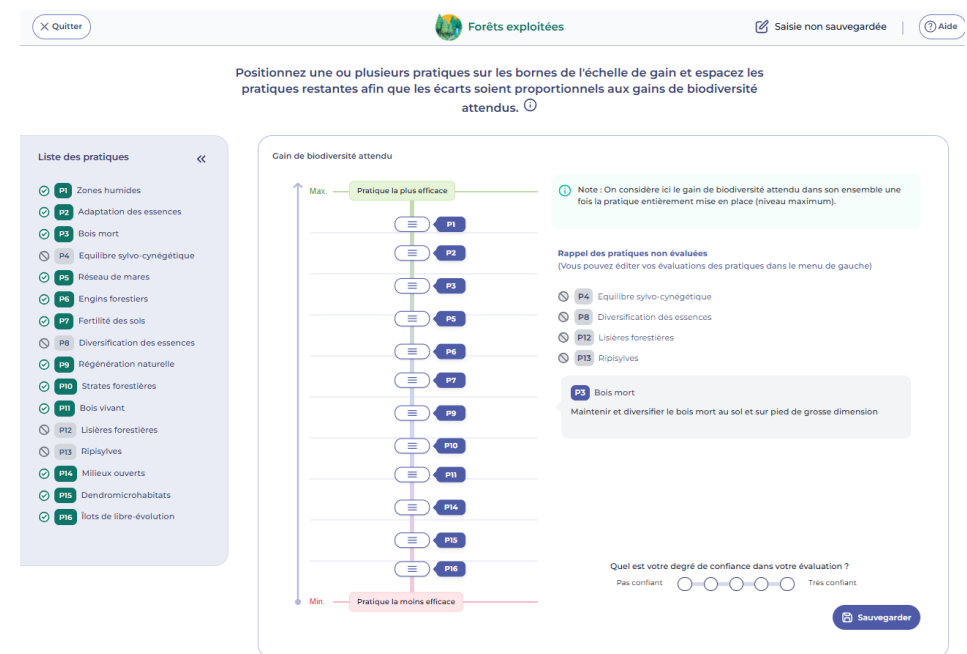


FIGURE 5A, 5B ET 5C - ECRANS D'ÉVALUATION PROPOSÉS À L'EXPERT : ÉTAPE D'INTER-CLASSEMENT



### Étape 3 — Étalonnage des écarts entre pratiques.

Les résultats des deux premières étapes sont restitués à l'expert sous forme d'une grille : pratiques en abscisse, gain de biodiversité attendu en ordonnée. La pratique la plus favorable sert d'étalon (valeur maximale fixée à 100) ; la pratique la moins favorable est positionnée par défaut à 50 % de l'étalon. L'expert ajuste cette position, ce qui contracte ou dilate la distribution des autres pratiques en conséquence (voir Fig. 6A, 6B et 6C). Cette étape permet à l'expert de positionner l'efficacité de la pratique la moins efficace comme un pourcentage de l'efficacité de la pratique la plus efficace.

À la fin du parcours principal, chaque pratique de la taxonomie et chaque niveau positionné sont associés, pour l'expert considéré, à une valeur de gain de biodiversité attendu. L'expert peut, s'il le souhaite, modifier son évaluation à toutes les étapes et pendant toute la durée de la campagne d'évaluation.

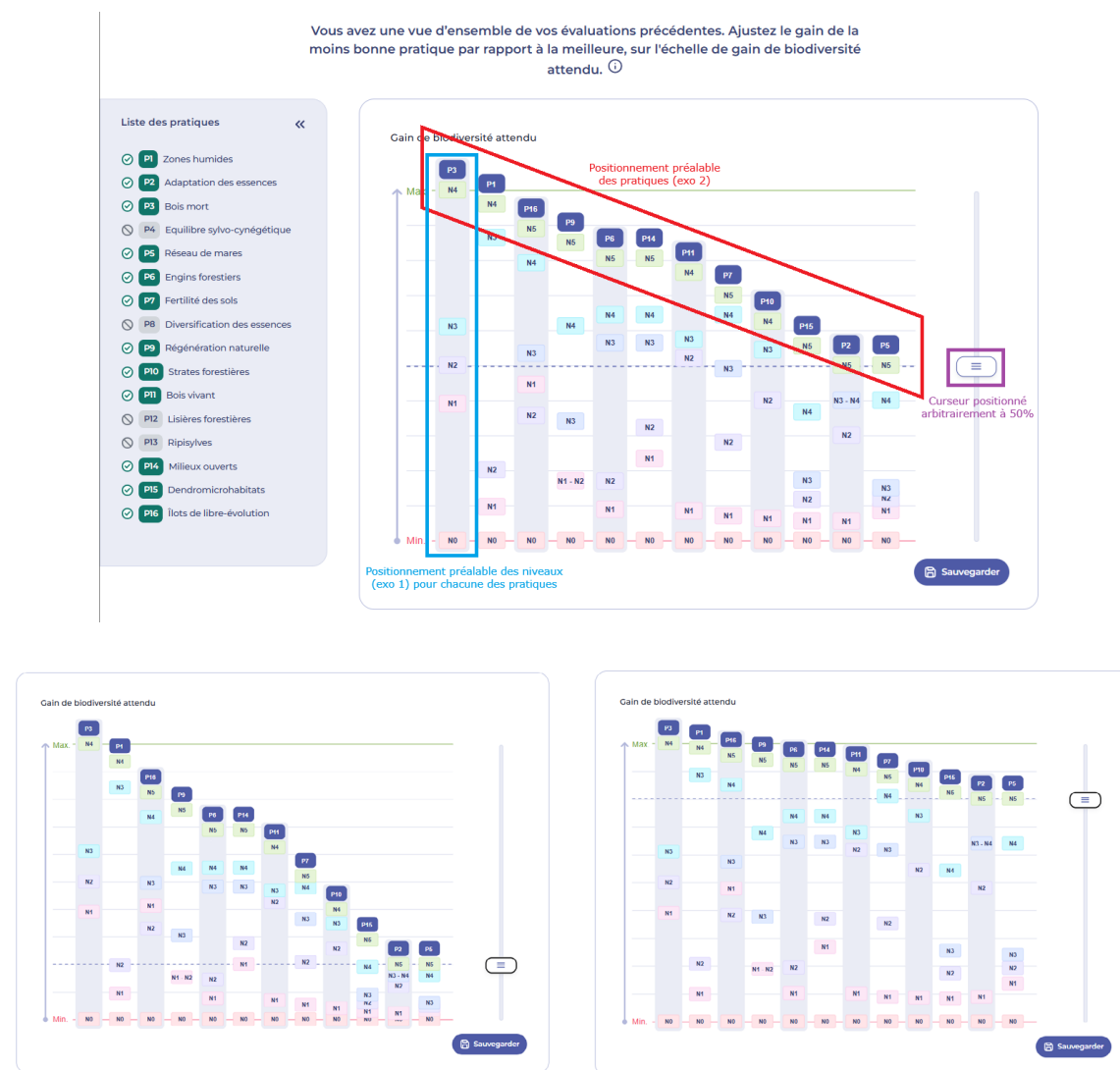


FIGURE 6A, 6B ET 6C - ECRANS D'ÉVALUATION PROPOSÉS À L'EXPERT : ÉTAPE D'ÉTALONNAGE DES ÉCARTS

- Les pratiques et les niveaux classés par l'expert lors des étapes 1 et 2 sont résumés avec un étalonnage automatique de 50% entre la pratique la mieux classée et celle la moins bien classée.
- L'expert propose des pratiques fortement hétérogènes en terme de gain biodiversité.
- L'expert propose des pratiques très homogènes en terme de gain biodiversité.

### 2.2.4 Aller au-delà du parcours principal : les parcours complémentaires

Les postulats 3 et 4 — indépendance des pratiques entre elles, indépendance vis-à-vis du contexte écologique — sont des approximations assumées dans le parcours principal. Deux parcours complémentaires, intégrés à la plateforme, en proposent la levée partielle. Ils sont facultatifs et ne reprennent que les pratiques évaluées par l'expert dans le parcours principal.



### Le parcours « Interactions entre pratiques »

Le parcours « Interactions entre pratiques » (voir Fig. 7) vise à **caractériser les interactions entre les pratiques**. Le gain associé à une pratique peut en effet dépendre des autres pratiques mises en œuvre conjointement. L'expert qualifie successivement l'interaction d'une pratique avec chacune des autres (P1 sur P2, P1 sur P3, etc.), l'interaction n'étant pas supposée symétrique : l'influence de P1 sur P2 peut différer de celle de P2 sur P1. Pour chaque couple de pratiques, il attribue l'une des cinq modalités suivantes : **très synergiques, synergiques, neutres, redondantes ou très redondantes**. Une réponse « neutre » indique une absence d'interaction (additivité des gains), tandis qu'une absence de réponse correspond à une interaction inconnue ou non évaluée. Lorsque deux pratiques sont synergiques, leur mise en œuvre conjointe produit un gain supérieur à la somme de leurs gains individuels ; lorsqu'elles sont redondantes, ce gain est inférieur à cette somme. Ces qualifications peuvent ensuite être traduites en coefficients multiplicateurs afin d'ajuster le gain estimé d'un projet combinant plusieurs pratiques.

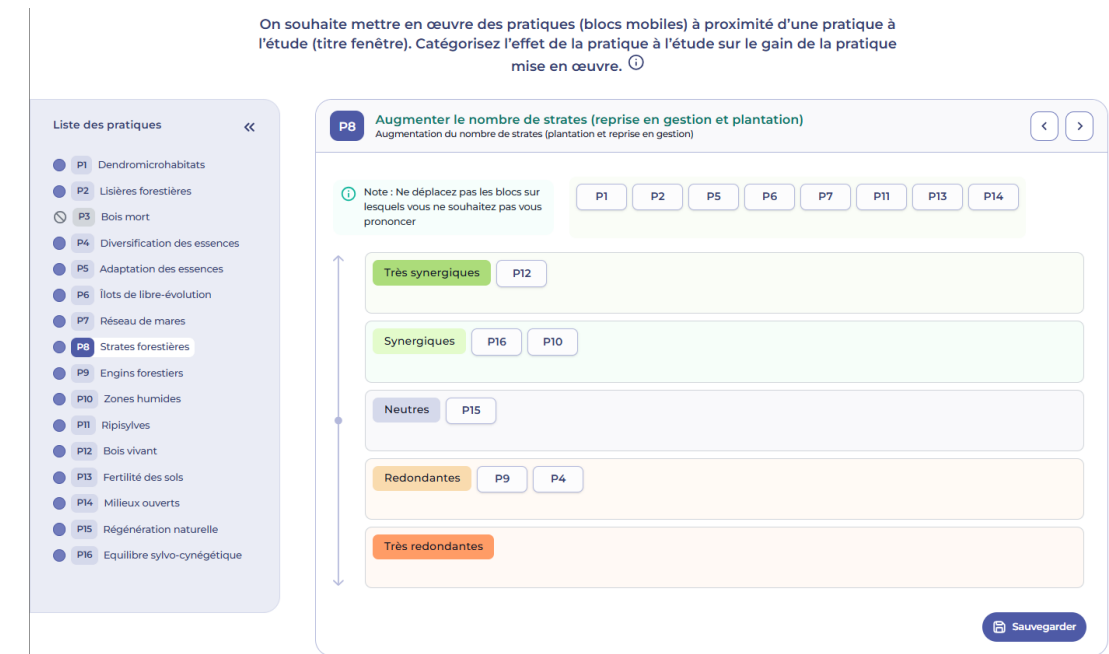


FIGURE 7 - ECRAN D'ÉVALUATION PROPOSÉ À L'EXPERT : PARCOURS COMPLÉMENTAIRE « INTERACTIONS ENTRE PRATIQUES »



Le parcours « Effet du milieu de déploiement de la pratique »

Le parcours « Effet du milieu de déploiement de la pratique » vise à **moduler le gain de biodiversité associé à chaque pratique en fonction du contexte écologique** dans lequel elle est mise en œuvre. Les paramètres pris en compte peuvent varier selon les socio-écosystèmes. Pour les premiers socio-écosystèmes traités par Puzzling Biodiversity, « Terres arables » et « Forêts exploitées », trois paramètres ont été retenus sur la base d’une analyse de la littérature et de l’expertise des comités scientifiques : l’humidité du sol, l’acidité du sol et l’ouverture du paysage (dans un rayon de 5 km). Ce set de paramètres peut être ajusté ultérieurement, en fonction des caractéristiques des socio-écosystèmes étudiés.

Chaque paramètre est décliné en cinq classes représentatives d’un gradient environnemental (par exemple : sols très acides à très basiques). Pour chacune de ces classes, l’expert qualifie l’effet attendu sur le gain de biodiversité de chaque pratique selon cinq modalités : **très amplifié, amplifié, neutre, réduit ou très réduit** (voir Fig. 8). Une réponse « neutre » traduit une absence d’effet du paramètre, tandis qu’une absence de réponse indique que l’expert ne dispose pas des connaissances suffisantes pour se prononcer. Comme pour les autres parcours, aucun renseignement n’est obligatoire. Les qualifications recueillies peuvent ensuite être converties en coefficients multiplicateurs afin d’ajuster le gain estimé d’un projet en fonction de son contexte d’implantation.

2.3 Établir le classement de référence

La construction du classement de référence transforme les évaluations individuelles en un classement collectif, tout en caractérisant le degré d’accord entre experts et l’origine des désaccords. Il se déroule en trois étapes : préparation des données, analyses statistiques, construction du classement. L’annexe B détaille certaines analyses présentées ci-après.

2.3.1 Préparation des données

TRANSFORMATION DES ÉVALUATIONS

À l’issue de l’étape 3 du parcours principal, le positionnement relatif réalisé par chaque expert permet d’attribuer une valeur relative à l’ensemble des pratiques et niveaux — ces valeurs traduisent la façon dont l’expert les discrimine entre elles. Selon les experts, ces valeurs sont plus ou moins hétérogènes (Fig 6b et 6c). Pour rendre les évaluations comparables d’un expert à l’autre, elles sont transformées de sorte que la somme des gains attribués à toutes les pratiques soit égale à 100 — comme si chaque expert répartissait 100 points entre les pratiques de la taxonomie. Cette transformation conserve les différences relatives exprimées par chaque expert, et produit des distributions plus symétriques et proches d’une loi normale, ce qui facilite les analyses statistiques paramétriques utilisées ensuite.

GESTION DES DONNÉES MANQUANTES

Quand une analyse exige un jeu de données complet, les valeurs manquantes sont imputées par la méthode des « forêts aléatoires » (*Random Forest*), choisie pour sa capacité à restituer des relations non linéaires entre variables. Toute méthode d’imputation tend à forcer la ressemblance entre les réponses complétées. Pour s’assurer que les indicateurs de consensus calculés restent stables, les résultats sont comparés à ceux obtenus par imputation aléatoire répétée 100 000 fois : un consensus qui persiste peut être considéré comme n’étant pas induit par le processus d’imputation.

2.3.2 Le tri sur la qualité des participations

Aucune participation n’est écartée a priori sur la base du questionnaire d’inscription — ces informations servent surtout à interpréter les résultats a posteriori. Le tri repose uniquement sur la qualité des données produites, selon quatre critères :

- **Temps consacré à l’évaluation** — les participations très en-deçà du temps de référence estimé sont examinées spécifiquement pour repérer d’éventuelles réponses non pertinentes.
- **Soin dans le classement** — les pratiques étant présentées dans un ordre aléatoire, un ordre final trop proche de l’ordre initial (corrélation > 0,4) signale un soin limité et est examiné.
- **Cohérence des évaluations** — un indicateur mesure l’écart entre les réponses d’un expert et la moyenne des autres participants ; les écarts les plus marqués sont examinés au cas par cas.
- **Part de pratiques évaluées** — les participations où plus de la moitié des pratiques ont été retirées sont écartées, l’imputation nécessaire étant alors trop importante pour rester fiable.

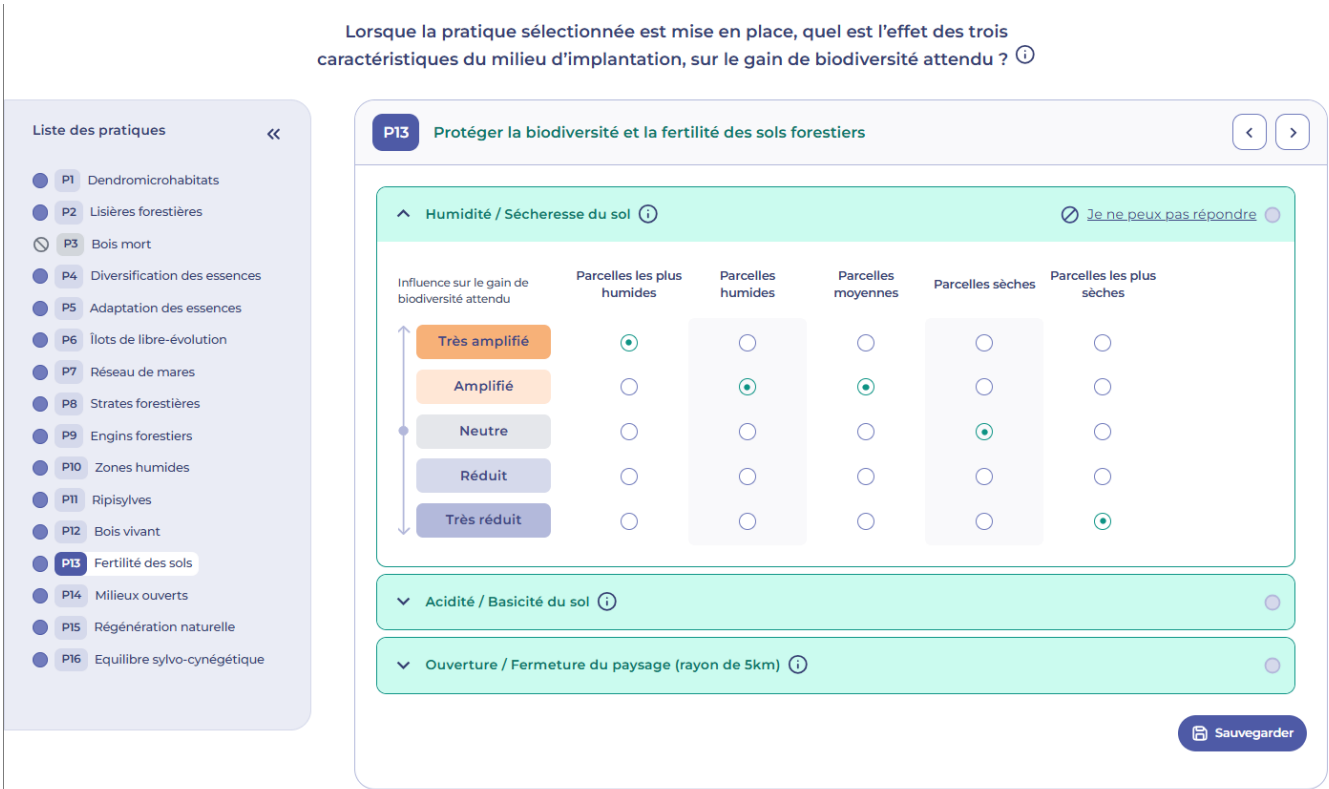


FIGURE 8 - ECRAN D'ÉVALUATION PROPOSÉ À L'EXPERT : PARCOURS COMPLÉMENTAIRE « EFFET DU MILIEU DE DÉPLOIEMENT DE LA PRATIQUE »





### 2.3.3 Analyses statistiques

Cinq analyses complémentaires sont appliquées aux données.

**1. Dispersion des évaluations** — L'écart-type des valeurs attribuées à chaque pratique est comparé au niveau de confiance déclaré par les experts, afin de tester l'hypothèse qu'une confiance faible s'accompagne d'une dispersion plus forte.

**2. Concordance entre experts** — Le coefficient de corrélation intraclass (ICC) mesure si les experts attribuent des valeurs proches à une même pratique; le coefficient de concordance W de Kendall mesure s'ils la classent au même rang. Utilisés ensemble, ils distinguent un accord sur les valeurs d'un accord sur l'ordre.

**3. Différences significatives entre pratiques** — Un modèle linéaire mixte (lmer) permet d'estimer le gain de biodiversité des différentes pratiques, en considérant l'identité de l'expert comme un effet aléatoire – chaque expert a une manière particulière de classer les pratiques. Le modèle isole cette variabilité individuelle pour ne retenir que les différences moyennes entre pratiques (voir Fig. 9).

**4. Structure des consensus** — Pour chaque pratique, la distribution des évaluations est représentée par un diagramme en violon, complété par trois indicateurs de tendance centrale : la moyenne (valeur moyenne de l'ensemble des réponses), la médiane (valeur qui partage les réponses en deux moitiés égales) et le mode (valeur la plus fréquemment donnée par les experts – arrondie à l'entier) (voir Fig. 10). Chaque indicateur ayant des sensibilités différentes, quand les trois convergent autour d'une même valeur le consensus est fiable. Un violon ramassé et centré, avec ces trois indicateurs proches, signale un consensus fort. Une distribution étalée, ou présentant plusieurs renflements (multimodale), signale des appréciations plus hétérogènes — la multimodalité en particulier pouvant révéler plusieurs groupes d'experts structurés autour de valeurs différentes.

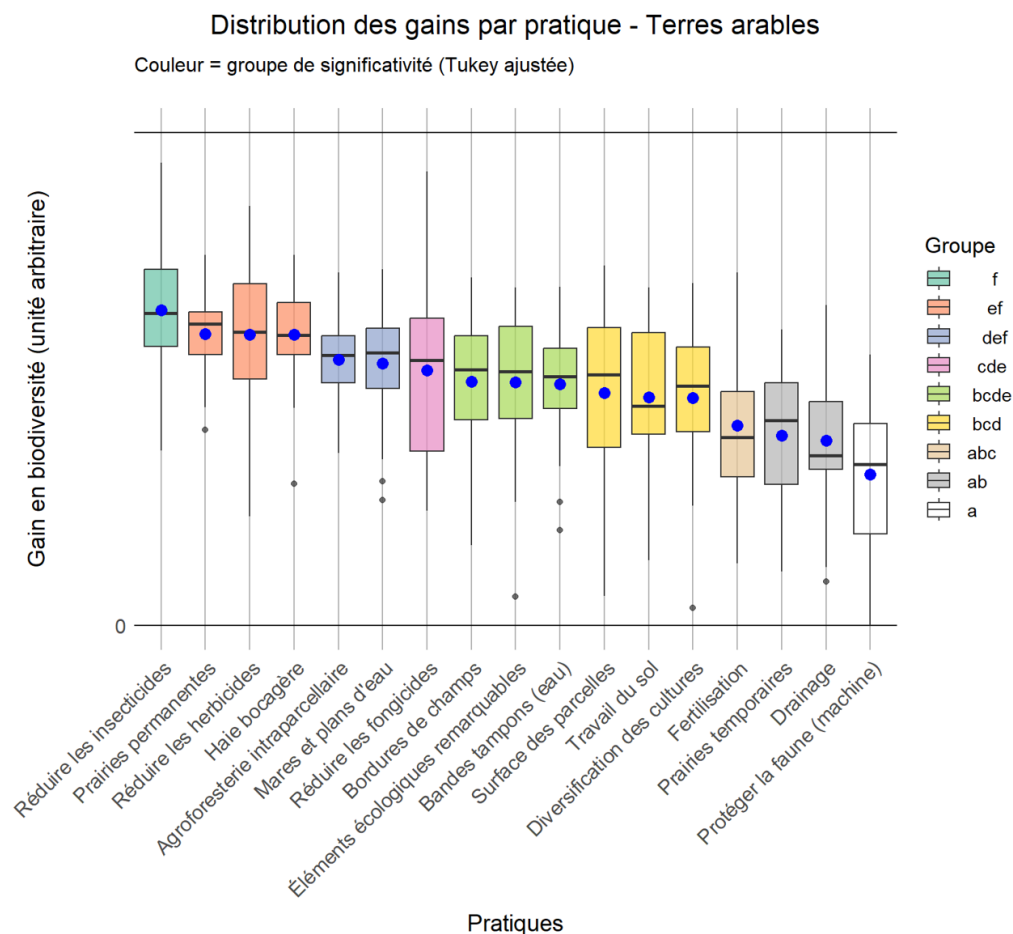


FIGURE 9 - GAIN DE BIODIVERSITÉ PAR PRATIQUE DE GESTION, EN TERRES ARABLES.

Boxplots : médiane, quartiles et étendue des observations. Points bleus : moyennes. Lettres et couleurs : groupes de significativité issus des comparaisons post-hoc par paires (emmeans, correction de Tukey) ; deux pratiques partageant une même lettre ne diffèrent pas significativement ( $p > 0,05$  ajusté). Exemple de lecture : Les pratiques du bloc « ef » sont significativement meilleures que les pratiques des blocs « bcd », « a », « ab », « abc ». Cependant les pratiques du bloc « ef » ne sont ni distinctes entre elles ni distinctes de celle des blocs « f », « def », « cde », « bcde ».

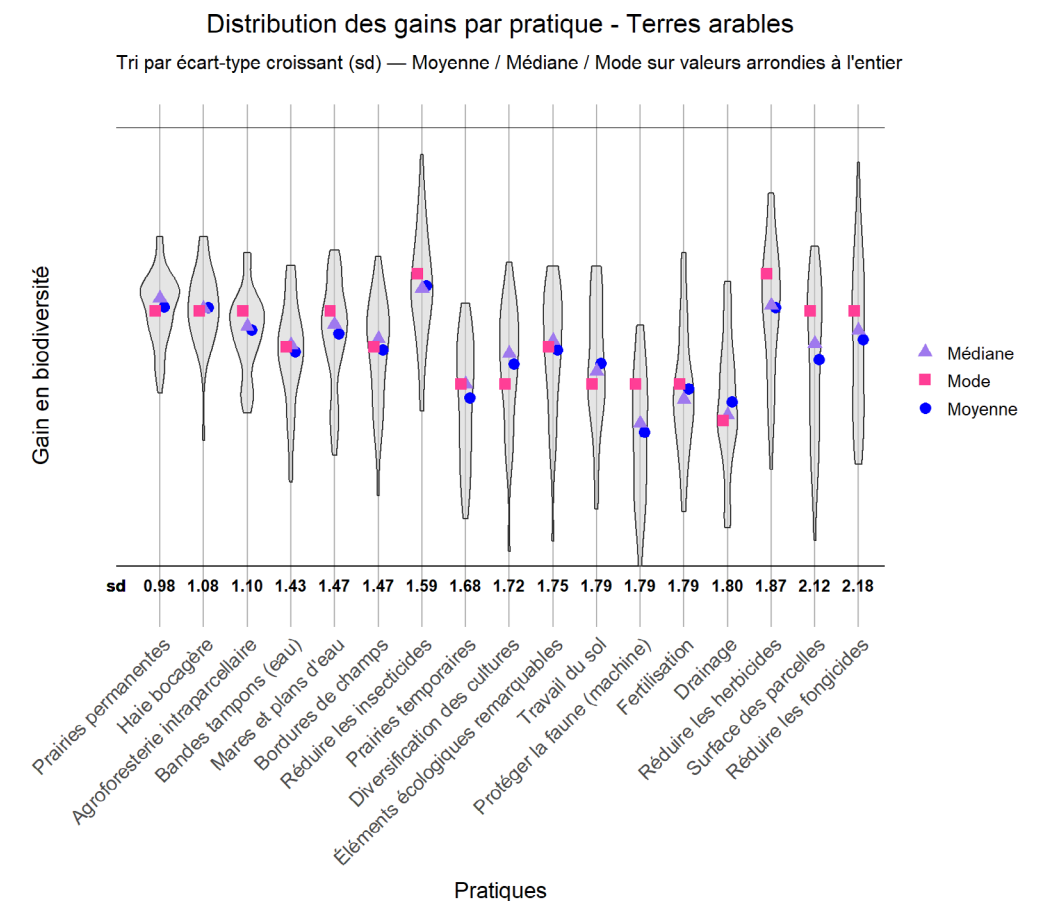


FIGURE 10 - DIAGRAMME EN VIOLON DES PRATIQUES FAVORABLES À LA BIODIVERSITÉ POUR LES TERRES ARABLES

Exemple de lecture des résultats : Les violons permettent d'observer la répartition des estimations pour chaque pratique : plus ils sont larges à une valeur donnée, plus les réponses sont nombreuses autour de cette valeur. La position et l'écart entre le mode, la médiane et la moyenne permettent ensuite de caractériser cette répartition.

Les pratiques sont dans l'ordre de l'écart type le plus faible au plus grand.

On constate que « Prairies permanentes » est plutôt bien estimé, indicateurs proches et violons larges autour de ces valeurs. « Réduire les herbicides » est mal estimé, le mode se détache et le violon est étendu.



**5. Origine des dissensus** — Une analyse en composantes principales (ACP) identifie les pratiques dont les évaluations varient conjointement d'un groupe d'experts à l'autre (un groupe survalorise une pratique quand il en dévalorise une autre, et inversement pour un autre groupe). Les coordonnées des experts sur les axes de l'ACP permettent ensuite de construire des groupes d'experts (*clustering* par classification

hiérarchique sur composantes principales, HCPC) aux profils de réponse cohérents entre eux mais distincts d'un groupe à l'autre — révélant ainsi une structure dans les dissensus observés (voir Fig. 11). Ces groupes sont *in fine* confrontés aux informations du questionnaire d'inscription pour explorer les facteurs susceptibles d'expliquer les dissensus.

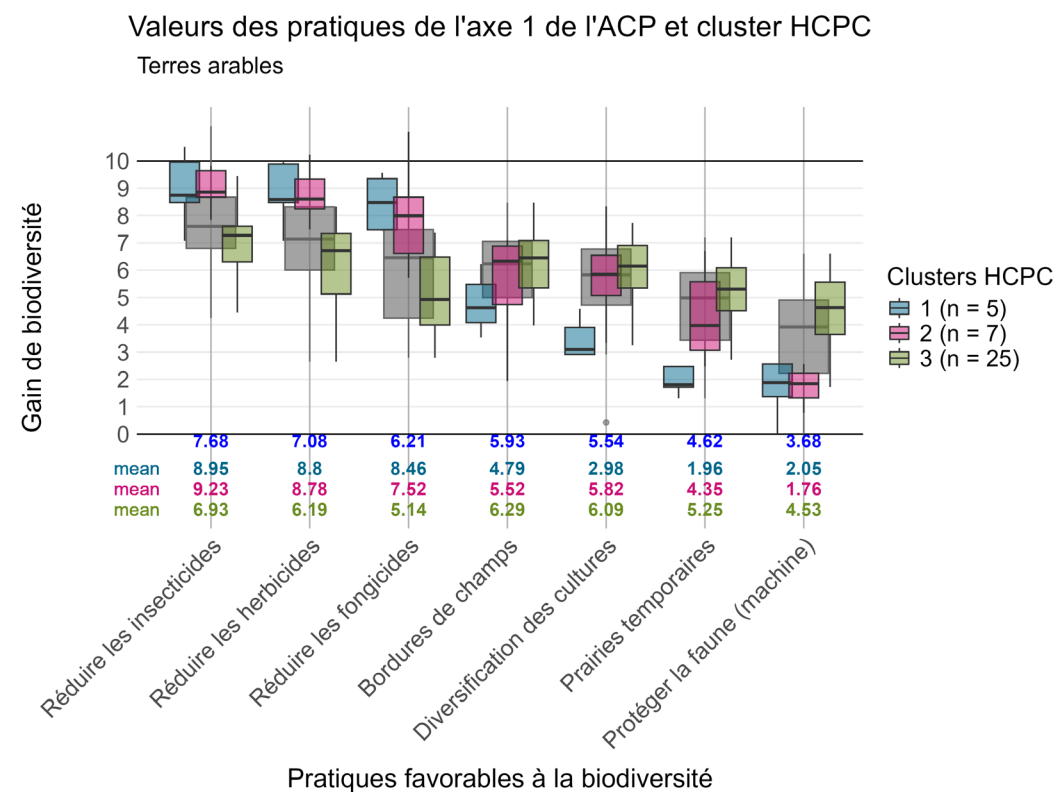


FIGURE 11 - GAIN EN BIODIVERSITÉ PAR PRATIQUE (TERRES ARABLES), CROISÉ AVEC LES 4 CLUSTERS ISSUS D'UNE CLASSIFICATION HIÉRARCHIQUE SUR COMPOSANTES PRINCIPALES (HCPC, ACP AXE 1).

Boxplots gris : distribution globale par pratique ; boxplots colorés : distribution par cluster (n indiqué en légende). Valeurs en bas : score moyen global par pratique (noir) et moyenne par cluster (couleurs).  
Exemple de lecture des résultats : On reprend les 7 variables qui illustrent le premier axe de l'ACP, ce sont les variables avec les comportements les plus remarquables. On constate que les clusters d'experts 1 et 2 se comportent de la même façon dans leur notations de ces pratiques et en opposition aux clusters 3.1 et 3.2 (séparation du même groupe). On peut lire que les experts des clusters 1 et 2 privilégient les pratiques de réductions des intrants tandis que les experts des clusters 3.1 et 3.2 ont tendances à évaluer les pratiques de manière plus égales et donnent une valeur moins forte à ces pratiques.

### 2.3.4 Construction du classement de référence

**Les évaluations individuelles sont agrégées en un classement collectif.** Dans la première application de la méthode, les pratiques sont ordonnées selon leur valeur moyenne. D'autres modes d'agrégation pourront être explorés à l'avenir (pondération par confiance déclarée ou par cluster d'experts, médiane plutôt que moyenne).

Les pratiques et leurs niveaux sont représentés sur une échelle de 0 à 100, correspondant à leur gain relatif de biodiversité attendu (voir Fig. 12). Ces valeurs, établies de façon comparative, ne s'interprètent que dans la taxonomie pour laquelle elles ont été produites : elles ne permettent pas de comparer des pratiques appartenant à des socio-écosystèmes différents.

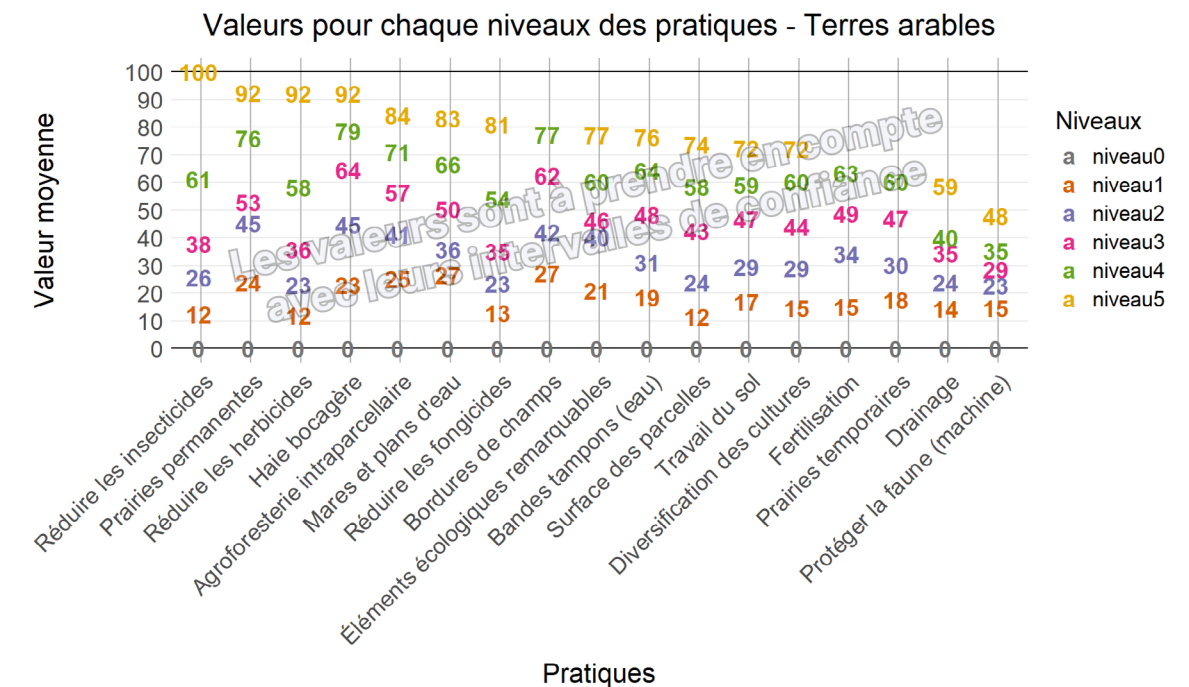


FIGURE 12 - VALEUR MOYENNE POUR CHAQUE NIVEAU D'IMPLÉMENTATION (0 À 5) DE CHAQUE PRATIQUE, POUR LE SOCIO-ÉCOSYSTÈME « TERRES ARABLES »

Exemple de lecture : Ce graphique permet de lire la valeur de chaque niveau pour chaque pratiques. Il est donc possible d'imaginer rapidement l'intérêt d'un projet ou d'une pratique comparativement à une autre et de mettre ces valeurs en relation avec des moyens humains ou financiers.



# Partie 3.

## Bilan et limites de la méthode

### 3.1 Atouts, limites et pistes d'amélioration

La méthode Puzzling Biodiversity permet de discriminer des pratiques présumées favorables à la biodiversité selon leur efficacité à dire d'experts, d'attribuer des gains relatifs de biodiversité et de discerner l'origine des différences d'estimation entre experts.

Elle est conçue pour produire, à condition d'une mobilisation suffisamment large et représentative des experts, des **classements de référence robustes et documentés**. Le tableau suivant (voir Tab. 1) en synthétise les atouts et les limites, pour ses trois composantes principales — la construction des taxonomies, la mobilisation de l'expertise, et l'analyse statistique du classement.

| Méthode               | Taxonomie de pratiques                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Mobilisation de l'expertise                                                                                                                                                                                                      | Analyse statistique et classement de référence                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Atouts                | <ul style="list-style-type: none"><li>Simple à comprendre et à faire évoluer</li><li>Articule savoirs de terrain et présentation standardisée</li><li>Publiée en accès libre et <i>open source</i></li></ul>                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"><li>Rapide à déployer (une fois la plateforme développée)<br/>Coût modéré</li><li>Biais de sélection facile à prendre en compte</li><li>Plateforme engageante, adaptée à la collecte</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>Indicateurs établis et documentés (ICC, Kendall W, modèle linéaire mixte)</li><li>Caractérise les dissensus et peut en identifier l'origine (ACP, clustering)</li><li>Transparente et reproductible</li></ul>                            |
| Risques et limites    | <ul style="list-style-type: none"><li>Dépend de l'atteinte d'un compromis entre rédacteurs</li><li>Hétérogénéité de la formulation finale</li><li>Nécessite un corpus de connaissances établies important</li><li>Temps et compétences d'accompagnement du groupe de rédacteurs nécessaires</li></ul>                           | <ul style="list-style-type: none"><li>Mobilisation opportuniste</li><li>Nombre d'experts participants difficile à contrôler et à prévoir</li></ul>                                                                               | <ul style="list-style-type: none"><li>Effectif d'experts important requis pour le statut de référence</li><li>Postulats d'indépendance (entre pratiques, au contexte écologique) difficiles à tester</li><li>Pas de validation externe de la fiabilité des résultats</li></ul> |
| Pistes d'amélioration | <ul style="list-style-type: none"><li>Formaliser un protocole de rédaction</li><li>Développer des compétences de rédaction, centrées sur la comparabilité</li><li>Structurer le calendrier et l'animation du groupe technique</li><li>Tester la cohérence de la taxonomie avec un groupe d'experts avant l'évaluation</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>Partenariats institutionnels pour massifier l'engagement</li><li>Diffusion multicanale, répétée, appuyée sur des réseaux reconnus par leurs pairs</li></ul>                                | <ul style="list-style-type: none"><li>Élargir et diversifier l'échantillon d'experts</li><li>Exploiter les parcours complémentaires pour lever les postulats d'indépendance</li><li>Explorer d'autres modes d'agrégation (pondération par confiance ou par cluster)</li></ul>  |

TABLEAU 1 : ATOUTS, RISQUES ET LIMITES, ET PISTES D'AMÉLIORATION DE LA MÉTHODE PUZZLING BIODIVERSITY

### 3.2 Conditions de validité

Au-delà des atouts et limites propres à chacune de ses composantes, la méthode repose sur des choix structurants dont les conditions de validité méritent d'être rappelées.

Le classement produit n'a de sens qu'à l'intérieur du socio-écosystème pour lequel il a été construit : deux socio-écosystèmes, même proches (forêts exploitées et terres arables par exemple), ne sont pas comparables entre eux.

La qualité du classement dépend directement de deux conditions amont : un périmètre de socio-écosystème correctement délimité et une taxonomie rédigée selon un haut niveau d'exigence et d'homogénéité — un maillon dont la robustesse conditionne toute la suite de la chaîne méthodologique.

La méthode repose sur des postulats simplificateurs assumés, en particulier l'indépendance supposée entre pratiques et vis-à-vis du contexte écologique local. Ces approximations rendent l'évaluation praticable à grande échelle ; leur levée progressive, *via* les parcours complémentaires prévus à cet effet, constitue un axe de travail pour les prochaines applications de la méthode.





### 3.3 Comparaison avec les méthodes existantes et proposition d'usages

La méthode Puzzling Biodiversity produit une connaissance nouvelle : la mise en regard structurée des évaluations de multiples experts dont l'analyse statistique révèle des consensus, des dissensus structurés et des incertitudes résiduelles. Le résultat n'est pas une synthèse systématique de connaissances ni une expertise ou une opinion collective négociée, mais le produit d'un dispositif organisé d'agrégation d'expertises scientifiques aussi bien académiques que pratiques.

Le classement de référence de pratiques favorables à la biodiversité a pour objectif de devenir un outil d'aide à la décision pour définir et inciter des trajectoires de gestion favorable à la biodiversité. Il permet de comparer différentes actions dans une grille de lecture simple et de pouvoir comparer leurs intérêts pour la biodiversité, à mettre en relation avec leurs coûts et les contraintes associées.

Il est conçu pour être mobilisé par plusieurs publics :

- Les **utilisateurs de la biodiversité** – forestiers, agriculteurs, pêcheurs, aménageurs, etc. – peuvent s'en servir comme d'un recueil de solutions permettant de rendre leur système d'exploitation plus favorable à la biodiversité.
- Les **gestionnaires d'espaces et d'espèces** y trouvent une lecture comparative des pratiques favorables à la biodiversité, applicables à leur contexte, et un appui à leurs décisions d'action de conservation et de restauration des socio-écosystèmes.
- Les **entreprises** peuvent l'utiliser pour structurer une stratégie biodiversité, fixer des objectifs, définir des critères d'achat, accompagner leurs fournisseurs ou rendre compte de leurs engagements.
- Les **acteurs publics** — collectivités, services ou agences de l'État — peuvent l'utiliser pour appuyer la définition de politiques locales et la priorisation d'actions sur un territoire.

- Les **porteurs de mécanismes de financement de la biodiversité** — appels à projets, dispositifs incitatifs, certificats ou crédits biodiversité — y trouvent un référentiel pour orienter les financements vers les actions à plus fort gain de biodiversité attendu. Cet usage est un point d'intersection direct avec le second volet du programme PRATIC, Certificats Biodiversité Territoriaux, qui explore précisément ces dispositifs.

- Les **acteurs de la recherche** sont concernés à deux titres : par la méthode elle-même, au travers de leur contribution aux questions d'évaluation de l'état de la biodiversité, et par les classements obtenus qui synthétisent et donnent à voir la connaissance experte sur un socio-écosystème — y compris dans ses lignes de consensus et de dissensus. Ils peuvent aussi trouver un intérêt dans la base de données qui permet de porter un regard sur l'état de la connaissance et les expertises associées aux différents positionnement par rapport aux valeurs de la biodiversité.

La méthode Puzzling Biodiversity se caractérise par un haut niveau de **transparence méthodologique**. Les taxonomies de pratiques utilisées pour l'évaluation sont diffusées en accès libre, les analyses statistiques mobilisées pour établir le classement sont documentées et les résultats sont publiés avec les niveaux d'incertitude et les dissensus observés entre experts.

Une caractéristique commune à ces usages : le classement de référence informe la décision et fournit, sous l'angle de la biodiversité, une base partagée pour la délibération et l'arbitrage. Cette méthode est complémentaire d'autres approches qui permettent d'intégrer des facteurs clés supplémentaires à la mise en œuvre de pratiques – économiques, agronomiques, sociaux – et doit toujours être utilisée en association avec des savoirs locaux.

Cette documentation permet de comprendre la construction du classement, d'en examiner les postulats et d'interpréter les résultats à la lumière des informations disponibles, d'explicitier la manière dont les classements sont construits et de fournir aux utilisateurs les éléments nécessaires pour en apprécier la portée et les limites.

## Conclusion

Puzzling Biodiversity est une méthode originale d'évaluation de l'efficacité des pratiques favorables à la biodiversité, fondée sur la mobilisation structurée de l'expertise scientifique et technique. Construite autour de trois étapes — l'élaboration d'une taxonomie de pratiques par des praticiens, leur évaluation par positionnement relatif par des experts scientifiques et l'analyse statistique des convergences et divergences observées — elle vise à produire, pour un socio-écosystème donné, un classement de référence des pratiques selon leur gain de biodiversité attendu.

Cette méthode se distingue par sa transparence méthodologique : taxonomies publiées en accès libre, protocole d'évaluation documenté, analyses statistiques reproductibles. Elle se positionne en complément des approches de mesure directe, de modélisation et des méthodologies de *scoring* existantes, en mobilisant une forme de connaissance que ces dernières ne peuvent capturer : les intuitions tacites, nourries par l'expérience de terrain, des experts scientifiques et praticiens.

Une première application de la méthode, conduite en 2024-2025 sur deux socio-écosystèmes d'Europe occidentale — les forêts exploitées et les terres arables — a permis d'éprouver l'ensemble de la chaîne méthodologique en conditions réelles. Ses résultats, ainsi que les enseignements qui en ont été tirés, sont présentés dans un document dédié : ils ont notamment permis d'identifier les axes de renforcement prioritaires pour les prochaines campagnes, en particulier autour de la rédaction des taxonomies et de l'élargissement de la mobilisation des experts.

Le programme scientifique PRATIC Biodiversity entre désormais dans une phase de consolidation de cette méthode, en vue de produire les premiers classements de référence. Cette démarche s'articule avec le second volet du programme, consacré aux Certificats Biodiversité Territoriaux, pour lequel les classements produits par Puzzling Biodiversity constituent un référentiel potentiel d'orientation des financements.





# Annexes

## Annexe A – Questionnaire d’inscription

Le questionnaire d’inscription, accessible aux experts au moment de la création de compte, est conçu pour caractériser le profil des évaluateurs et permettre, en analyse à posteriori, l’identification des facteurs explicatifs des dissensus. Il comporte quatre sections.

- Démographie : âge, sexe, pays d’exercice, secteur (public, privé, autre).
- Parcours : formation initiale, années d’expérience dans le champ de la biodiversité.

- Expertises : disciplines de spécialité, taxons travaillés, types de socio-écosystèmes étudiés ; auto-évaluation de l’expertise sur une échelle à cinq échelons.
- Perspectives : positionnement dans le triangle des valeurs de la biodiversité de l’IPBES (intrinsèque, instrumentale, relationnelle) (voir Fig. 13); auto-évaluation du niveau de connaissance des socio-écosystèmes étudiés.

Les variables du questionnaire sont utilisées dans l’analyse statistique pour caractériser les clusters d’experts identifiés à l’analyse en composantes principales (ACP) (cf. [Annexe B.6](#)).

### 1. MIEUX CONNAITRE LEURS PERSPECTIVES

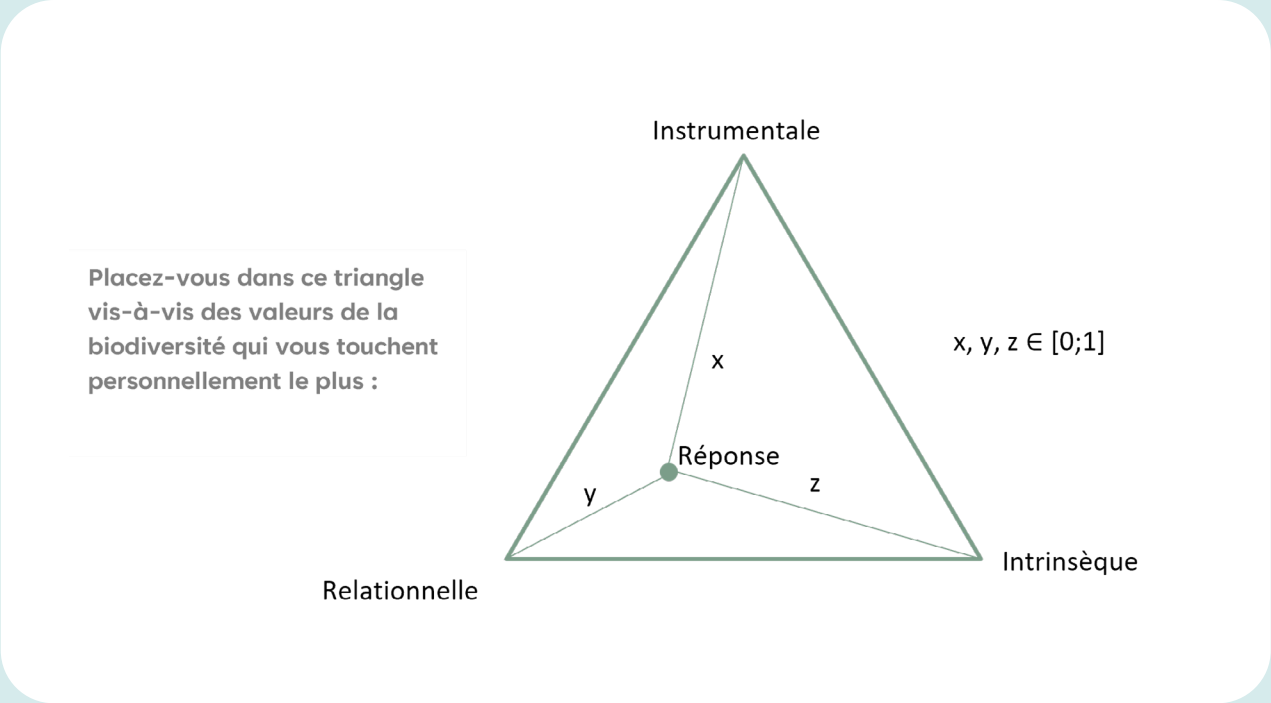


FIGURE 13 - TRIANGLE DES VALEURS DE LA BIODIVERSITÉ PROPOSÉ PAR L’IPBES

TABEAU 2 - QUESTIONNAIRE D’INSCRIPTION DESTINÉS AUX ÉVALUATEURS SUR LA PLATEFORME WEB PUZZLING BIODIVERSITY

### 2. ILLUSTRER LA RÉPARTITION DES PARTICIPANT(E)S :

| Vous êtes |       |             |                    | Nationalité (facultatif) | Année de naissance (facultatif) |
|-----------|-------|-------------|--------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Femme     | Homme | Non-binaire | Ne se prononce pas | Liste                    | Min : 1900<br>Max : 2010        |

### 3. MIEUX CONNAITRE LEUR PARCOURS

| Votre statut professionnel |           |             |             | Organisme auquel vous êtes ou avez été rattaché(e) | Votre secteur |       |       | Votre séniorité sur l’étude de la biodiversité (années) |        |         |         |      |
|----------------------------|-----------|-------------|-------------|----------------------------------------------------|---------------|-------|-------|---------------------------------------------------------|--------|---------|---------|------|
| Etudiant(e)                | Actif(ve) | Sans emploi | Retraité(e) | Nb caractères<br>min = 2<br>max = 64               | Public        | Privé | Autre | 0 - 5                                                   | 6 - 10 | 11 - 15 | 16 - 20 | 20 + |

### 4. MIEUX CONNAITRE LEURS EXPERTISES

| Vous passez du temps dans la nature |                            |                         |                           |        | Au sein de la communauté d’experts en biodiversité, j’ai des compétences de naturaliste | Au sein de la communauté d’experts en biodiversité, j’ai des compétences d’écologie | Je vis à proximité des écosystèmes que j’étudie |
|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Tous les jours                      | Plusieurs fois par semaine | Plusieurs fois par mois | Moins d’une fois par mois | Jamais | Likert : [1;5]                                                                          | Likert : [1;5]                                                                      | Likert : [1;5]                                  |

| Le(s) milieu(x) que vous étudiez |           |            |       | Dans quel(s) biome(s) se situe(nt) ce(s) milieu(x) ? |                        |           |                            |                       |
|----------------------------------|-----------|------------|-------|------------------------------------------------------|------------------------|-----------|----------------------------|-----------------------|
| Agricole                         | Marin     | Montagnard | Autre | Désert                                               | Forêt tropicale humide | Glaciaire | Prairie                    | Toundra               |
| Dulcicole                        | Forestier | Urbain     |       | Eau douce                                            | Forêt tempérée         | Marin     | Savane / prairie tropicale | Taiga (forêt boréale) |

| Sur quel(s) continent(s) ? |             |                   |                  | Échelle(s) de vos recherches |            |             |            |
|----------------------------|-------------|-------------------|------------------|------------------------------|------------|-------------|------------|
| Afrique                    | Antarctique | Amérique Centrale | Amérique du Nord | Gène                         | Cellule    | Micro-faune | Individu   |
| Amérique du Sud            | Asie        | Europe            | Océanie          | Population                   | Communauté | Paysage     | Ecosystème |
|                            |             |                   |                  | Société humaine              | Biome      | Planète     |            |



# Annexe B – Compléments de la méthode statistique

## B.1 Préparation des données

Les données issues de l'étape 3 du parcours principal sont transformées avant analyse. Pour chaque parcours, la pratique la plus favorable est fixée à 100, la pratique la moins favorable à la valeur k du curseur ajusté par l'expert en étape 3. Les pratiques intermédiaires sont positionnées selon les écarts définis en étape 2. La somme des valeurs des pratiques d'un parcours est ensuite ramenée à 100, ce qui revient à traiter les évaluations comme une distribution de 100 « points » entre les pratiques.

L'effet de cette transformation a été testé. La structure des données est conservée (test de Mantel > 0,9 ; coefficient RV entre 0,8 et 0,9, deux tests significatifs) ; la stabilité statistique s'améliore (le nombre de variables présentant une distribution univariée normale passe de 4 à 11 pour les forêts exploitées et de 7 à 12 pour les terres arables, tests d'Anderson-Darling et de Henze-Zirkler) ; la part de variance expliquée par les deux premiers axes d'une ACP augmente, ce qui est compatible avec une réduction du bruit dans les données. Les jeux de données transformés sont retenus pour la suite des analyses.

## B.2 Tri sur la qualité des participations

Parmi les quatre critères retenus pour trier la qualité des participations, ci-après le détail de leur application :

- Soin effectif dans l'exercice. On calcule la corrélation entre l'ordre initial des pratiques (propre à chaque expert) et l'ordre rendu en étape 2. Si l'expert se contente de modifier l'ordre de quelques pratiques sur l'axe, l'ordre rendu est fortement corrélé à l'ordre initial. Le seuil de 0,4 est calibré par simulation (100 000 tirages aléatoires de listes de 16 ou 17 items) : une corrélation supérieure à 0,4 est observée par hasard dans moins de 5 % des cas si l'expert a effectivement reclassé toutes les pratiques. Au-delà de ce seuil, la participation est examinée et écartée si elle apparaît effectivement douteuse.

- Cohérence des évaluations - Excentricité des réponses. Pour chaque expert, on calcule, pour chaque pratique, l'écart entre sa réponse et la moyenne des réponses des autres experts, divisé par l'écart-type de ces réponses, élevé au carré, puis sommé sur l'ensemble des pratiques. On définit un seuil à  $Q3 + 1,5 \times IQR$  (où Q3 est le troisième quartile et IQR l'écart interquartile), au-delà duquel les participations excentriques sont mises en évidence et examinées. Dans l'application de la méthode, un parcours pour les forêts exploitées et deux pour les terres arables ont ainsi été écartés ; un même expert apparaissait dans les deux, ce qui suggère une mécompréhension de l'exercice.

Sont également écartées les participations pour lesquelles plus de la moitié des pratiques ont été retirées par l'expert et dont le temps d'évaluation est jugé non suffisant.

## B.3 Indicateurs de concordance

- Coefficient de corrélation intraclasse (ICC). Mesure la similarité des valeurs attribuées à un même item par les évaluateurs. Seuils d'interprétation usuels : < 0,50 mauvais, 0,50–0,75 modéré, 0,75–0,90 bon, > 0,90 excellent.
- W de Kendall. Mesure la concordance des rangs. Seuils usuels : 0–0,10 mauvais, 0,10–0,30 faible, 0,30–0,50 modéré, 0,50–0,70 bon, > 0,70 fort.

Ces deux indicateurs ne se calculent pas sur des jeux comportant des données manquantes. Pour éviter les biais d'imputation, les indicateurs sont calculés sous quatre conditions : imputation par la moyenne, imputation par k-NN, imputation par ACP, et imputation aléatoire avec 100 000 répétitions (intervalle de confiance entre les 2,5 % et les 97,5 %). La stabilité des valeurs sous imputation aléatoire renseigne sur la robustesse intrinsèque du résultat.

Les résultats observés sur les deux socio-écosystèmes montrent un ICC élevé et stable, et un Kendall W faible. Les évaluations sont concordantes en valeur mais non en rang strict.

## B.4 Modèle linéaire mixte (fonction lmer)

Pour identifier les pratiques significativement différentes en termes de valeurs attribuées, un modèle linéaire mixte est appliqué. L'expert est modélisé comme effet aléatoire, la pratique comme effet fixe. Les comparaisons par paires identifient les blocs de pratiques pour lesquelles l'absence de différence significative n'est pas rejetée. Le résultat est représenté par un code lettre : deux pratiques partagent une lettre si leur différence n'est pas significative ; deux pratiques sans lettre commune sont significativement distinctes.

Pour les forêts exploitées, le modèle identifie trois à quatre blocs avec des recouvrements importants entre les pratiques les plus favorables. Pour les terres arables, davantage de blocs sont identifiés et la différenciation est plus marquée.

## B.5 Représentation des consensus sur les valeurs des pratiques

Pour chaque pratique, la distribution des valeurs attribuées par les experts est représentée par un diagramme en violon, accompagné de trois indicateurs de tendance centrale (moyenne, médiane, mode arrondi à l'entier le plus proche), et d'un indicateur de dispersion (écart-type). La convergence des trois indicateurs et un écart-type faible signalent une pratique consensuelle. Une distribution étalée ou bimodale, ou des indicateurs éloignés, signalent un dissensus.

## B.6 Analyse en composantes principales et clustering

Les évaluations sont analysées par ACP. L'imputation des données manquantes utilise la méthode MissMDA, qui préserve la structure multivariée des données. Les axes principaux identifient les pratiques dont les évaluations varient de manière dépendante.

Un *clustering* HCPC (hiérarchique sur les composantes principales) est effectué sur les coordonnées des experts dans l'ACP. Les clusters sont caractérisés par les modalités du questionnaire d'inscription qui y sont sur- ou sous-représentées par rapport à la distribution globale.

Pour chaque pratique, on calcule la variance intra-cluster (moyenne pondérée par l'effectif de chaque cluster) et la variance inter-cluster (entre les moyennes des clusters). Le ratio variance inter / variance intra indique la part de variance des évaluations expliquée par les clusters. Combiné à la variance initiale, ce ratio permet de classer les pratiques en quatre catégories : consensuelles (variance basse) ; en dissensus structuré (variance haute, ratio élevé) ; en dissensus résiduel (variance haute, ratio faible) ; moyennement bien estimées (intermédiaires).

Pour les terres arables, le *clustering* est de bonne. La première dimension de l'ACP explique 24 % de la variance et oppose les évaluations d'un cluster majoritaire (25 experts) à celles de deux clusters minoritaires (5 et 7 experts). Pour les forêts exploitées, le clustering n'est pas significatif : le bruit résiduel n'est pas expliqué par les modalités du questionnaire, ce qui appelle un examen au cas par cas (qualité de la rédaction, état de la connaissance).



# Liste des acronymes

|                                                                                                        |                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PRATIC</b> : Programme de Recherche-Action Coopératif (pour la Biodiversité)                        | <b>IPBES</b> : Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques |
| <b>MNHN</b> : Muséum national d'Histoire naturelle                                                     | <b>ICC</b> : coefficient de corrélation intraclasse                                                                         |
| <b>FRB</b> : Fondation pour la recherche sur la biodiversité                                           | <b>ACP</b> : analyse en composantes principales                                                                             |
| <b>MOSAIC</b> : Méthodes et Outils pour les Sciences Participatives (unité MNHN – Sorbonne Université) | <b>HCPC</b> : Hierarchical Clustering on Principal Components                                                               |

# Liste des figures

|                                                                                                                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure 1a et 1b</b> - Taxonomie des pratiques .....                                                                                                                                        | <b>12</b> |
| <b>Figure 2</b> - Evaluation en ligne des pratiques .....                                                                                                                                     | <b>13</b> |
| <b>Figure 3</b> - Les étapes de la construction d'une taxonomie de pratiques .....                                                                                                            | <b>17</b> |
| <b>Figure 4a, 4b et 4c</b> - Ecrans d'évaluation proposés à l'expert : étape d'intra-classement .....                                                                                         | <b>20</b> |
| <b>Figure 5a, 5b et 5c</b> - Ecrans d'évaluation proposés à l'expert : étape d'inter-classement .....                                                                                         | <b>22</b> |
| <b>Figure 6a, 6b et 6c</b> - Ecrans d'évaluation proposés à l'expert : étape d'étalonnage des écarts .....                                                                                    | <b>25</b> |
| <b>Figure 7</b> - Ecran d'évaluation proposé à l'expert : parcours complémentaire « Interactions entre pratiques » .....                                                                      | <b>26</b> |
| <b>Figure 8</b> - Ecran d'évaluation proposé à l'expert : parcours complémentaire « Effet du milieu d'implantation de la pratique » .....                                                     | <b>27</b> |
| <b>Figure 9</b> - Gain en biodiversité par pratique de gestion, en terres arables. ....                                                                                                       | <b>29</b> |
| <b>Figure 10</b> - Diagramme en violon des pratiques favorables à la biodiversité pour les terres arables .....                                                                               | <b>30</b> |
| <b>Figure 11</b> - Gain en biodiversité par pratique (terres arables), croisé avec les 4 clusters issus d'une classification hiérarchique sur composantes principales (HCPC, ACP axe 1). .... | <b>31</b> |
| <b>Figure 12</b> - Valeur moyenne pour chaque niveau d'implémentation (0 à 5) de chaque pratique, pour le socio-écosystème Terres arables » .....                                             | <b>32</b> |
| <b>Figure 13</b> - Triangle des valeurs de la biodiversité proposé par l'IPBES .....                                                                                                          | <b>39</b> |

# Liste des tableaux

|                                                                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau 1</b> - Atouts, risques et limites, et pistes d'amélioration de la méthode Puzzling Biodiversity .....         | <b>33</b> |
| <b>Tableau 2</b> - Questionnaire d'inscription destinés aux évaluateurs sur la plateforme web Puzzling Biodiversity ..... | <b>37</b> |





**Citation** : Julliard, R., Thévenard, F., Gaboriau, M., Fontaine, C., Pivin, A., Delavaud, A., Soubelet, H., Jacq, U., Couvet, D. (2026). Synthétiser l’expertise pour identifier les pratiques favorables à la biodiversité. La méthode : concepts et protocole. Coll. Expertise et synthèse. Fondation pour la recherche sur la biodiversité, Paris, France : 40 pages.

**Coordination de la rédaction** : Flavie THEVENARD (MNHN), Matthias GABORIAU (FRB), Aurélie DELAVAUD (FRB), Urielle JACQ (MNHN), Romain JULLIARD (MNHN)

**Relectures** : Pauline COULOMB (FRB), Denis COUVET (pres. FRB), Colin FONTAINE (CNRS), Fanny LAVASTROU (FRB), Arthur PIVIN (PRATIC Biodiversity), Hélène SOUBELET (FRB)

**Remerciements** : Flore BASTELICA (Carbone 4), Romain FRELAT (FRB), Thy-Pha PHAM (MNHN), les chercheuses et les chercheurs qui se sont prêtés aux tests de la plateforme Puzzling Biodiversity avant son ouverture publique, les experts qui se sont engagés dans les évaluations sur la plateforme, toutes les personnes qui ont accompagné le projet depuis son origine. Ce programme de recherche a bénéficié du mécénat du Fonds de dotation *Muséum pour la Planète*, grâce aux soutiens de Kering, de l’*Organization for Biodiversity Certificates*, d’AXA, Vinci Construction, de l’Occitane en Provence et de Natran.

**Direction de la publication** :  
**Pour la FRB** : Hélène SOUBELET  
**Pour le MNHN** : Romain JULLIARD

**Crédits photographiques** : ©NicolasDubois

**Graphisme** : François Junot  
**Mise en page** : Marie Cellard

© FRB 2026

ISBN pdf : 979-10-91015-79-0  
ISBN print : 979-10-91015-80-6



On assiste à un besoin croissant d'outils permettant d'évaluer de manière transparente et opérationnelle l'incidence des actions anthropiques sur la biodiversité. La méthode « Puzzling Biodiversity » propose une approche à dire d'experts, distincte des méthodes de mesure directe ou de modélisation les plus courantes.

Cette méthode s'intéresse aux écosystèmes inscrits dans des trajectoires de gestion et/ou exploités par les humains : ce n'est pas directement leur état écologique qui est évalué, mais comment l'état de la biodiversité dépend des pratiques de gestion qui s'y déploient.

Développée dans le « Programme de Recherche-Action Coopératif pour la biodiversité », cette méthode a réuni les forces de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité, du Muséum national d'Histoire naturelle et de l'entreprise Carbone 4.

Carbone 4 accompagne la transformation des organisations vers la décarbonation, l'adaptation au changement climatique et la préservation de la biodiversité. Carbone 4 a développé une expertise approfondie des enjeux propres aux différentes composantes de l'économie à travers ses activités de conseil, de production de données, de formation et de sensibilisation.

Synergie unique au monde entre recherche, expertise, collections, enseignement et diffusion des connaissances, le Muséum se consacre quotidiennement à la nature et à ses relations avec l'espèce humaine. Au carrefour des sciences de la Terre, de la Vie et de l'Homme, le Muséum allie l'épopée historique de la connaissance, la science au cœur de la société, le partage des savoirs et la préservation de la nature.

Fondation de coopération scientifique, la Fondation pour la recherche sur la biodiversité a pour mission de favoriser les activités de recherche sur la biodiversité en lien avec les acteurs de la société. Son centre de recherche, le Cesab, concentre les activités de pointe de synthèse de données et de connaissances. La Fondation réunit aussi une Assemblée des parties prenantes pour intégrer les enjeux des acteurs et co-construire des projets de recherche. Enfin, elle est associée aux grandes négociations internationales sur l'avenir environnemental. Susciter l'innovation, développer et soutenir des projets, diffuser les connaissances et mobiliser l'expertise sont au cœur de ses actions.

Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB)  
195, rue Saint-Jacques 75005 Paris  
[www.fondationbiodiversite.fr](http://www.fondationbiodiversite.fr)  
@FRBiodiv



Membres Fondateurs de la FRB

