

Synthèse des recherches sur les liens entre la perte de biodiversité liée à la gestion forestière et les conséquences socio- écologiques et économiques

CONTRIBUTEURS

REDACTION ET CONTRIBUTIONS :

Joseph LANGRIDGE¹

Louise DUPUIS¹

Devi VEYTIA²

Cécile JACQUES¹

Hélène SOUBELET¹

RELECTURES :

Aurélie DELEVAUD¹

Hervé JACTEL³

AFFILIATIONS :

¹Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB-Cesab), la maison des océans, 195 rue Saint-Jacques, Paris, France.

² Laboratoire de Météorologie Dynamique, Institut Pierre-Simon Laplace, CNRS, École normale supérieure/PSL, Sorbonne Université, École Polytechnique, Paris, France

³INRAE, University of Bordeaux, UMR Biogeco, 33612, Cestas, France

CITATION :

Langridge, J., Dupuis, L., Veytia, D., Jacques, C., Delavaud A., Jactel, H. & H. Soubelet, H. 2026. Synthèse de la recherche sur les liens entre la perte de biodiversité liée à la gestion forestière et les conséquences socio-écologiques et économiques. Paris, France : FRB, 38 pp

DOI :

<https://doi.org/10.5281/zenodo.23476148>

À propos du cadre de l'étude	4
1. Contexte de l'étude	5
2. Résultats Bibliométriques	7
2.1. Description bibliométrique.....	7
2.2. Composition de la base de données finale	7
2.3. Structure de la recherche qui s'intéresse aux liens entre pratiques, pertes de biodiversité ou fonctions écosystémiques et externalités	9
2.4. Les pays à revenu élevé dominent la littérature scientifique sur les relations entre perte de biodiversité et impacts socio-économiques de la gestion forestière.....	10
3. Synthèse narrative : liens entre types de peuplements, pratiques sylvicoles et impacts multidimensionnels.....	12
4.1 Effets directs des pratiques de gestion sur la biodiversité	12
4.2 Effets sur les fonctions écologiques : sols, stockage et séquestration du carbone	13
4.3 Effets en cascade : régulation hydrique et cycle de l'eau.....	13
4.4 Dimensions socio-économiques, santé et bien-être humain.....	15
4. Perspectives.....	16
5.1 Limites de l'étude liées à l'usage de l'IA	16
5.2 Perspectives pour la recherche.....	17
5.3 Implications pour la gestion forestière	17
5. Matériel et méthodes	17
5.1. Recherche de littérature et première phase de tri des études	18
5.2. Extraction des données assistée par <i>Large Language Models</i>	18
5.3. Déclaration sur l'utilisation de l'IA.....	19
6. Références	20
7. Annexes : méthode complète	22

À PROPOS DU CADRE DE L'ETUDE

Ce projet est issu de la collaboration entre la **Fondation Crédit Mutuel Alliance Fédérale**, et la **FRB**, ayant conduit à la co-construction d'un programme de recherche ambitieux et exploratoire afin de mieux comprendre comment la perte de la biodiversité et des services écosystémiques pouvait engendrer des effets néfastes pour les humains. La première question posée dans ce programme est la suivante : **peut-on mesurer les risques que nous courons — pour nos activités, notre économie et notre qualité de vie — à cause de la disparition des bénéfices gratuits et souvent invisibles que la biodiversité nous procure** ? Identifier et quantifier les risques liés au déclin des contributions de la nature est un enjeu majeur pour les sociétés, comme pour la recherche.

Les scientifiques documentent, par exemple, la décroissance inquiétante de la fertilité des sols, la diminution de la capacité des écosystèmes à réguler les pathogènes, la perte des pollinisateurs, la simplification des paysages qui détruisent les habitats naturels et les identités culturelles. Cependant, nous manquons d'une vision globale et holistique. Ce programme d'étude, d'une durée de trois ans a permis de financer plusieurs revues de la littérature scientifique (cf. [agriculture](#) et [pêche](#)) pour tenter de synthétiser les premières réponses à ces questions, issues de la littérature scientifique.

Les sociétés humaines évoluent et avec elles les innovations, les savoir-faire, les pratiques. Or ces évolutions ne prennent pas toujours en compte la biodiversité et certaines, voire la plupart, ont des effets néfastes sur le vivant. Ce programme permet de dégager, au travers des exemples issus de la littérature scientifique, les mécanismes, en particulier les « fausses bonnes idées », qui conduisent à une destruction du vivant, une perte de qualité de vie, ont des incidences économiques négatives ou encore ralentissent le développement d'alternatives durables.

La force de ce programme est la co-construction d'une question de recherche dans une démarche de transdisciplinarité, un financement pluriannuel qui donne du temps à la synthèse de connaissances et, enfin, un partage de rôles et la confiance réciproque entre les deux fondations pour un travail concerté et fructueux. La FRB soutient le dialogue science-société, tandis que la FCMAF contribue au financement des recherches et à la diffusion des résultats, deux dimensions importantes pour l'avenir.

Ainsi, le présent rapport vise à **analyser les relations entre la perte de biodiversité induite par les pratiques de gestion forestière et les conséquences socio-écologiques et économiques associées**. Le sujet fait appel à de nombreuses disciplines scientifiques – écologie, économie, sociologie, géographie, agronomie – qui ne publient pas nécessairement ensemble et dont il est intéressant de faire la synthèse et de rapprocher les résultats..

1. CONTEXTE DE L'ETUDE

La biodiversité est étroitement liée aux écosystèmes forestiers qui abritent 80 % de la biodiversité terrestre mondiale (Toivonen et al., 2023). Cependant, les activités anthropiques ont, depuis longtemps, affecté la couverture forestière et induit des modifications de la structure et de la composition des forêts, mettant ainsi en péril la biodiversité qui en dépend (Ceballos et al., 2015 ; Betts et al., 2022). Or, la perte de biodiversité est un des enjeux les plus critiques pour les sociétés d'aujourd'hui, dans la mesure où cette perte menace le fonctionnement des écosystèmes, les services qu'ils fournissent et, *in fine*, la santé et les activités humaines (Ceballos et al., 2015). Lorsque la dégradation de la qualité, la perte ou la fragmentation des habitats, résultent d'activités humaines extractives, la perte de biodiversité et des contributions de la nature entraîne de nombreuses externalités socio-écologiques et économiques négatives liées à la perte de biens et de valeurs pour les populations (Muys et al., 2022; Pukkala, 2022). Mettre en évidence les conséquences « cachées » - ou effets externes - liées à la perte de biodiversité et/ou de fonctions écosystémiques dues à des pratiques de gestion forestière à travers le monde peut ainsi être considéré comme un enjeu central pour les sciences forestières (dans le contexte de la multifonctionnalité des forêts), la science de la conservation et l'élaboration des politiques publiques.

En effet, des pratiques de gestion forestière, combinées à la mondialisation du commerce, exacerbent ces pressions (IPBES, 2019). Certaines pratiques de gestion forestière ont des impacts très néfastes à la fois sur la biodiversité, les fonctions écologiques et sur les bénéfices sociétaux que nous retirons des forêts préservées (Hanski, 2011) tels que la séquestration du carbone, le contrôle de l'érosion et la gestion des nappes phréatiques : des services de régulations essentiels (Pukkala, 2022). De plus, la diversité biologique renforce la résilience des forêts face aux perturbations anthropiques, assurant le fonctionnement des écosystèmes indispensables aux besoins actuels et futurs (Knoke et al., 2008; Biggs et al., 2012; Jactel et al., 2017).

La simplification des peuplements forestiers réduit la diversité spécifique et fonctionnelle, ce qui affecte directement les processus écologiques tels que la décomposition, le cycle des nutriments, la productivité primaire (Cardinale et al., 2012). En outre, les plantations forestières monospécifiques sont généralement plus vulnérables aux ravageurs et pathogènes, entraînant des risques accrus d'épidémies et de pertes de biomasse (Jactel et al., 2017). Cette vulnérabilité peut, par exemple, compromettre les services de régulation clés comme la séquestration du carbone. D'autre part, la dégradation et compaction des sols forestiers liée à l'exploitation mécanisée peut réduire la capacité d'infiltration de l'eau, accroître les eaux de ruissellement entraînant de l'érosion et altérer la qualité des eaux de surface (Brumberg et al., 2026). Les monocultures peuvent également réduire la valeur économique à long terme des forêts (Knoke et al., 2008). À l'échelle globale, la dégradation des écosystèmes pourrait entraîner des pertes économiques importantes liées à la diminution de ces services écosystémiques (Costanza et al., 2014). Les conséquences sociales sont également notables. La manière dont les forêts sont exploitées peut affecter les moyens de subsistance des communautés dépendantes de ressources naturelles ("Millennium Ecosystem Assessment," n.d.), ce qui peut même affecter la sécurité alimentaire, les pratiques et les perceptions culturelles (Magoso et al., 2025) et encore, exacerber les déséquilibres et inégalités (Agnolotti and Santoro, 2015). A contrario, l'exposition à des environnements forestiers diversifiés est associée à des bénéfices pour la santé mentale et le bien-être (Hartig et al., 2014).

Les forêts sont des écosystèmes multifonctionnels, dans ce contexte, l'identification des liens entre la perte de biodiversité liée à la gestion forestière et les risques pour les moyens de subsistance, la santé humaine et le bien-être, ainsi que les effets en cascade sur les services écosystémiques (ex. régulation de l'eau, des sols, le stockage de carbone etc.), est essentielle pour orienter l'évolution des pratiques et l'élaboration de politiques publiques durables (voir figure 1 pour notre modèle conceptuel). Cette démarche repose sur une revue rigoureuse et actualisée de l'état des connaissances scientifiques.

La littérature scientifique a étudié les effets de la gestion forestière sur la biodiversité et les services écosystémiques. Il existe néanmoins un manque de revues regroupant les études établissant un lien entre

cette perte de biodiversité, les modification des processus écosystémiques et les impacts sur les sociétés humaines en découlant. Cette revue permettra donc d'éclairer la connexion à trois niveaux entre i) les pratiques de gestion forestière, ii) leurs impacts (changement d'état) sur la biodiversité et/ou ses fonctions, et iii) les conséquences pour les sociétés humaines en termes d'externalités économiques, sociales et environnementales. Elle constituera un résumé logique aidant les décideurs à comprendre les processus en cascades à travers la littérature académique et les tendances qui se dégagent des données probantes.

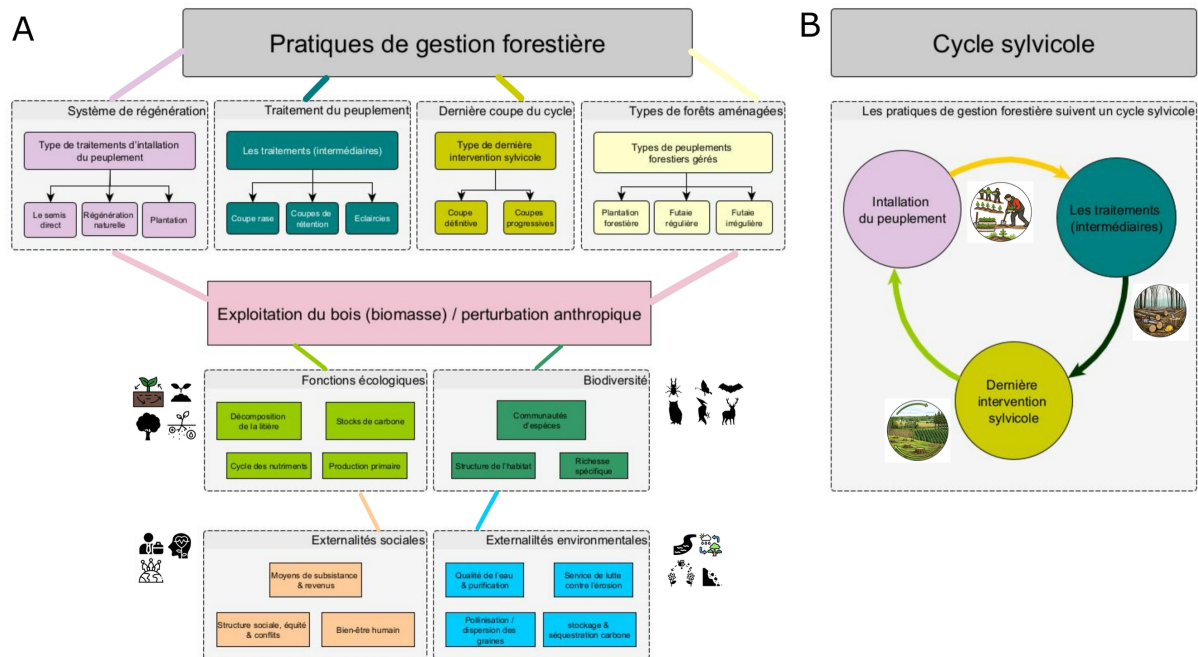


Figure 1. Modèle conceptuel utilisé pour l'étude, liant les types de forêts et la gestion forestière aux conséquences environnementales et sociétales (externalités). (A) Haut : Les pratiques sylvicoles (violet - vert-bleu - kaki) interviennent sur différents types de forêts gérées (jaune pâle). L'extraction de bois (rose), modifie les processus écosystémiques internes et la biodiversité (centre). Ces changements régulent ensuite la fourniture de services écosystémiques clés et d'impacts socio-environnementaux plus larges, dites « externalités » (bas). Les lignes indiquent les principales relations causales théoriques. (B) Les pratiques de gestion forestières suivent le cycle sylvicole.

2. RESULTATS BIBLIOMETRIQUES

2.1. DESCRIPTION BIBLIOMETRIQUE

La recherche de littérature sur les bases de données de citations a permis de recueillir plus de 7 000 articles scientifiques. Le processus de sélection (cf. PRISMA dans section 7.3 de l'annexe) a permis de sélectionner notre jeu de données final comprenant 317 études de cas extraits à partir de 188 articles au total (*N.B* ces 188 articles est un sous-ensemble du total). Nous entendons ici par « étude de cas » les mentions de texte permettant la description d'une chaîne causale correspondant à notre modèle conceptuel (cf. Figure 2 pour comprendre la structure hiérarchique des données probantes). Chaque article peut ainsi contenir un nombre variable d'études de cas. C'est sur les 317 études de cas que sont réalisées les descriptions du corpus ci-après.

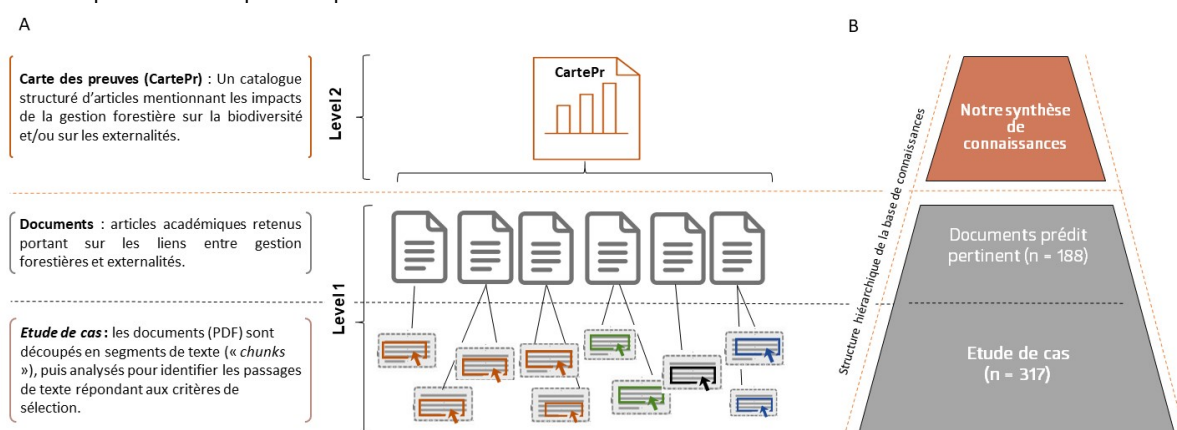


Figure 2. Structure hiérarchique de la base de données (A : panel gauche). Les études de cas sont extraites dans les segments de texte, ces mentions correspondent aux critères des prompts. Notre carte systématique comprend 188 articles prédits pertinents (un sous-ensemble du total), et 317 étude de cas (B : panel de droite).

La première phase de tri sur titre et résumé (analyse manuelle) a permis de réduire le corpus initial de 7 344 articles à 1 529 (dont 1 420 PDF ont pu être récupérés pour l'analyse par l'apprentissage automatique). Cette 2^{ème} phase de « tri » sur texte entier - avec l'aide d'un modèle LLM - a été réalisée sur un sous-échantillon de ces 1 420 références totales, soit 517 articles. Sur les 517 articles, 287 ont été prédits éligibles par le modèle. Une phase de *vérification humaine*, réalisée d'après préconisation de la CEE (Thomas et al., 2024) a conduit à exclure 94 articles additionnels, dont 64 en raison d'interventions non pertinentes, c'est-à-dire une gestion forestière non conforme à nos critères d'éligibilité. (Par exemple, le modèle a eu tendance à inclure des cas de plantations dédiées à l'exploitation de l'huile de palme, ou d'hévéas pour le caoutchouc, et donc n'ayant pas comme objectif primaire l'extraction du bois.)

2.2. COMPOSITION DE LA BASE DE DONNEES FINALE

L'ensemble des articles retenus dans le corpus a été publié entre 1986 et 2024 (Figure 3A). Le nombre de publications semble augmenter à partir des d'années 2000. Cette première hausse pourrait être liée à plusieurs événements politiques et institutionnels majeurs, influençant sans doute la recherche académique sur les forêts. D'abord, le Groupe Intergouvernemental sur les Forêts (*Intergovernmental Panel on Forests* - IPF) qui a été créé en 1995 afin d'élaborer des propositions d'action coordonnées pour soutenir la gestion, la conservation et le développement durable des forêts. Puis, en 2000, la création du tout premier Forum des Nations Unies sur les Forêts (*FNUF*) par le Conseil économique et social (ECOSOC), ce qui a marqué l'aboutissement de près d'une décennie de dialogue intergouvernemental entamé depuis le Sommet de la Terre de 1992 à Rio de Janeiro, où les forêts ont été reconnues comme un élément central du développement durable. Enfin, la publication en 2004 du premier rapport sur l'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire (*Millenium Ecosystem Assessment* - MEA) - l'une des études les plus vastes jamais réalisées auparavant sur les liens entre les services écosystémiques et le bien-être humain - a dû

jouer un rôle structurant dans l'orientation de la recherche académique sur les impacts socio-écologiques et économiques de la gestion forestière. En effet, une accélération du nombre de publications par la suite de ces trois événements est observable (Figure 3B). Pour la suite de ce rapport, les analyses par régions à niveaux de revenus se fondent sur l'indicateur de *Work Bank Income*. Ainsi, le corpus semble être dominé par les pays à revenu intermédiaire et à revenu élevé (Figure 3B).

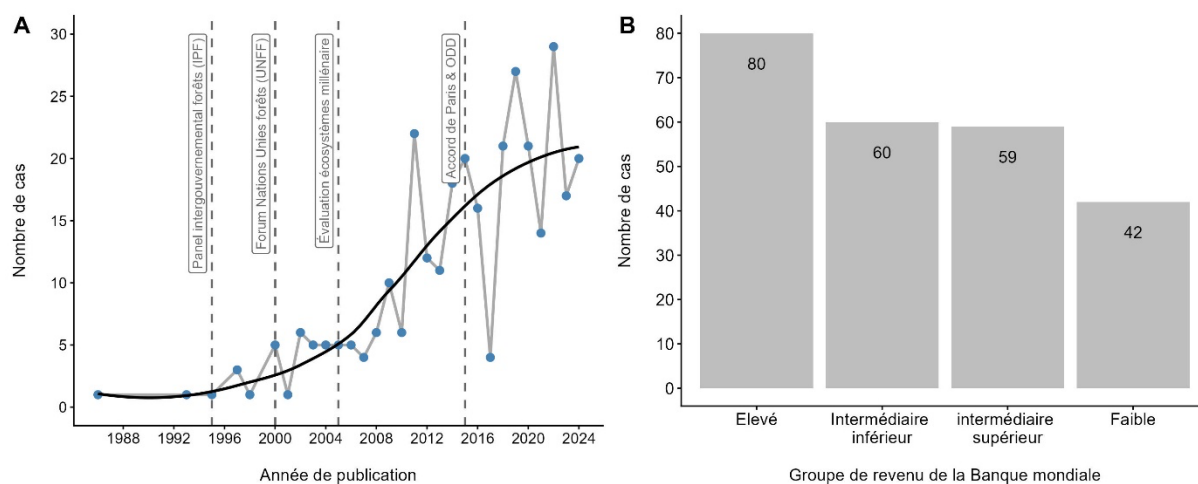


Figure 3. Illustration de l'évolution temporelle des publications (A : panel gauche), et la répartition par niveau de revenus des pays (B : panel de droite).

En termes de distribution des données par pays et régions, on constate une concentration plus élevée en Amérique du Nord, en Europe et en Asie, et des études moins nombreuses en Afrique. Certaines pratiques de gestion forestière comme l'afforestation, les coupes avec rétention, ou la gestion communautaire des forêts sont peu représentées globalement (Figure 4), et si elles sont étudiées, on les trouve en Asie, Océanie, et Afrique. Enfin, les études portant sur les futaies, les coupes partielles ainsi que les coupes rases dominent en Amérique du Nord et en Europe, tandis qu'en Océanie et Amérique du Sud les études portant sur les plantations / semi direct semble prédominantes.

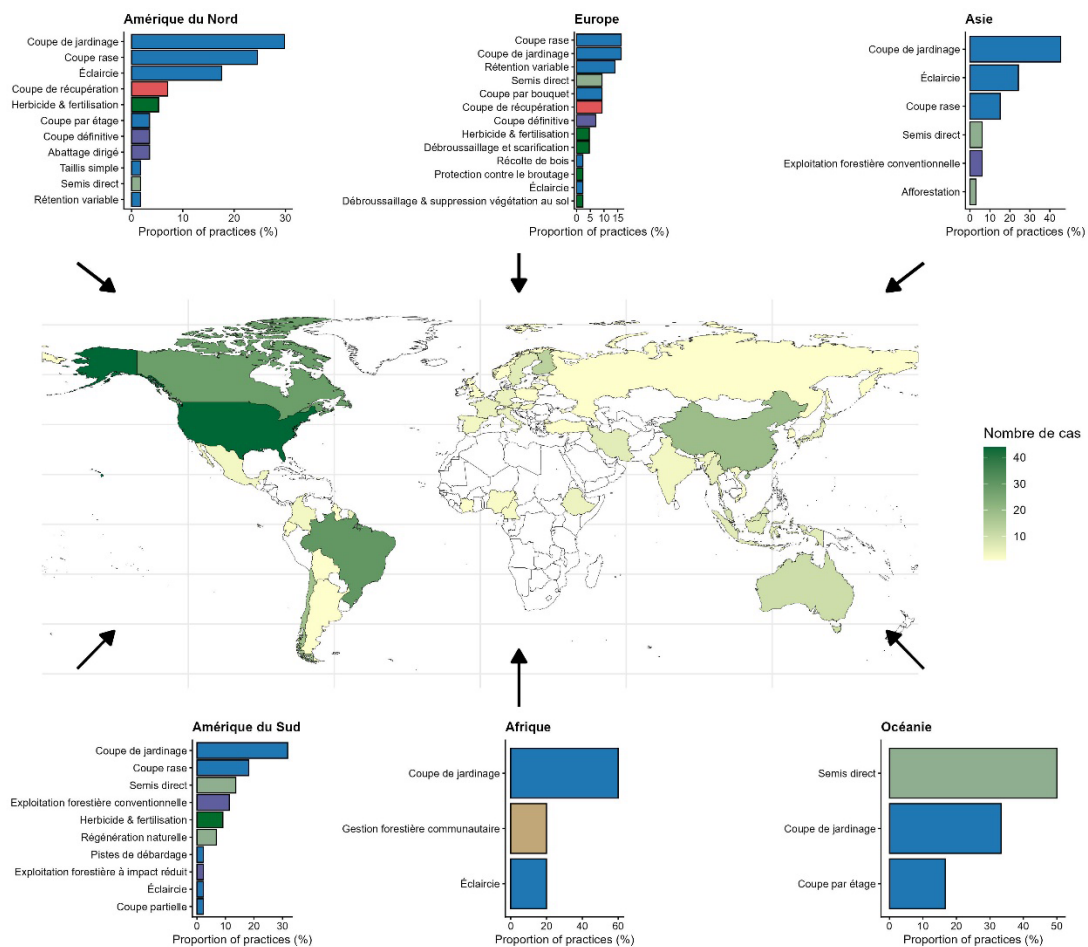


Figure 4. Illustration de la distribution mondiale des pratiques de gestion forestière étudiées. La typologie de pratiques de gestion forestière (cf. *barplots*) est la suivante : "Mesures d'amélioration du site" : en vert foncé, "Types d'installation du peuplement" : en vert clair, "Types de traitements (intermédiaires) du peuplement" : en bleu, "Type de forêt aménagée : collaborative" : en brun clair, "Gestion post-incendie" : rouge, "Type de dernière coupe du cycle" : violet.

2.3. STRUCTURE DE LA RECHERCHE QUI S'INTERESSE AUX LIENS ENTRE PRATIQUES, PERTES DE BIODIVERSITE OU FONCTIONS ECOSYSTEMIQUES ET EXTERNALITES

Notre modèle conceptuel a pour ambition de mettre en évidence un type de réseau causal, décrivant une structure fortement interconnectée entre types de pratiques dans les forêts aménagées, biodiversité ou fonctions écologiques, et externalités sociétales et environnementales (Figure 5).

Deux archétype de facteurs structurent le système : les types de forêts aménagées (N.B. l'aménagement des forêts est le premier critère ayant conduit à l'inclusion des articles, y compris en l'absence de mention de pratiques spécifiques) et les types de pratiques de gestion forestière, qui sont reliées. Ces différentes modalités de gestion ont des effets directs sur la biodiversité (un changement, une perte) indiqués par les flèches (N.B. plus les flèches sont épaisses, plus il y a d'études de cas extraites des articles). La biodiversité apparaît comme un nœud intermédiaire clé : un type de forêt aménagée (nb de cas = 179) ou un type de pratique spécifique impacte la biodiversité (nb de cas = 162) reliant la sphère écologique aux dimensions de types externalités environnementales (n = 83).

Les fonctions écologiques sont impactées et influencées par la dynamique de gestion forestière dans 114 cas, et 25 contribuent ensuite à l'impact sociétal externe (nb de cas = 25), illustrant une potentielle cascade d'effets depuis la gestion des forêts vers des bénéfices ou des coûts sociétaux. En parallèle, un type de forêt aménagée ou un type de pratique spécifique engendrent des effets directs sur les services de

régulation, respectivement dans 94 et 97 cas d'externalité environnementale ($n = 94$; $n = 97$), et sur les indicateurs sociaux dans 63 et 59 cas ($n = 63$; $n = 59$).

Ces résultats indiquent ainsi que les pressions induites par la gestion forestière entraînent des perturbations modulant les trajectoires du socio-écosystème. Cela renforce l'hypothèse que certaines modalités de gestion forestière génèrent des effets externes, sociologiques et environnementaux, en cascade, mettant en évidence le caractère systémique, multi-échelle et multifonctionnel des socio-écosystèmes.

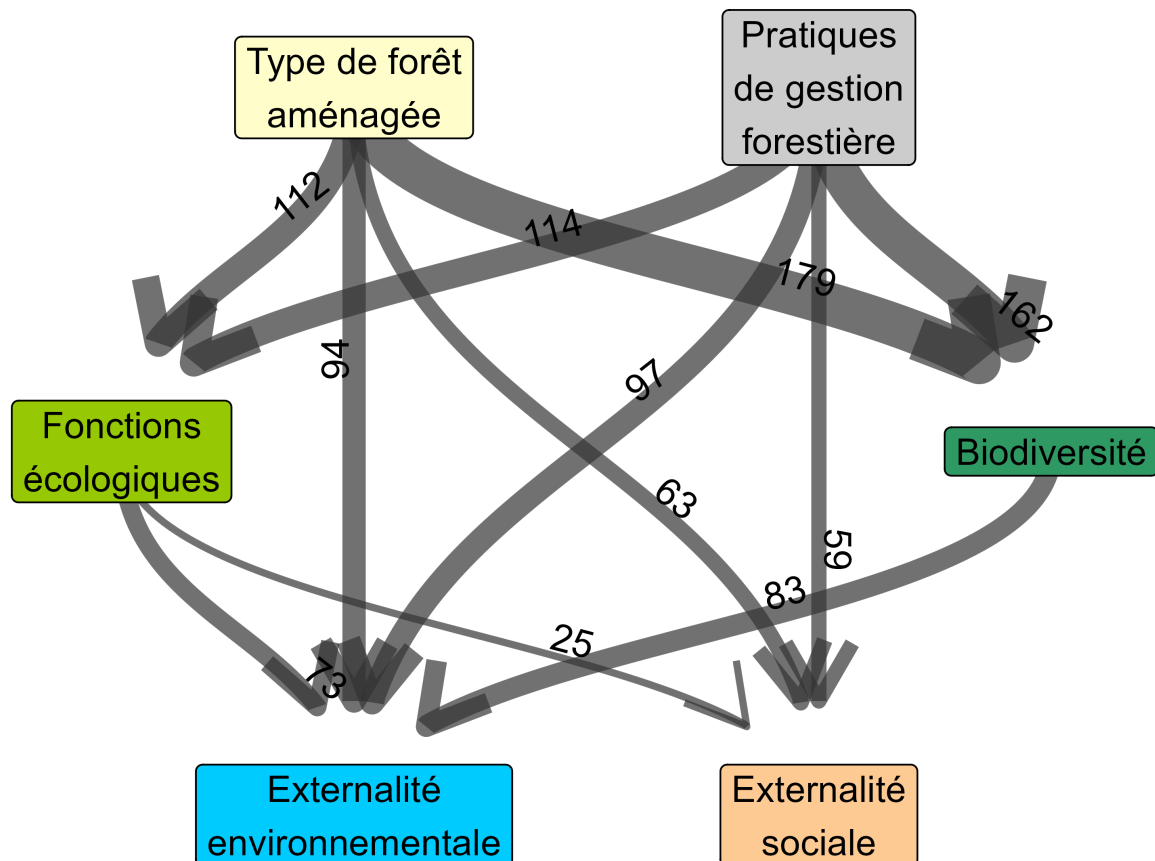


Figure 5. Graphe orienté acyclique (EN: *Directed Acyclic Graph*) pour représenter les liens entre les différents éléments de notre question principale (cf. Figure 1). Les chiffres représentent le nombre d'études de cas au sein des articles prédits éligibles.

2.4. LES PAYS A REVENU ELEVE DOMINENT LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE SUR LES RELATIONS ENTRE PERTE DE BIODIVERSITE ET IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES DE LA GESTION FORESTIERE

Les Figures 6 et 7 présentent la distribution géographique et les thématique des études de cas incluses dans la revue, structurée selon le cadre conceptuel (Figure 1). La carte mondiale de la Figure 5 illustre la répartition géographique des études par région, en se concentrant sur le lien entre la perte de biodiversité ou de fonctions écologiques liées à la gestion forestière et leurs impacts sociaux et économiques. Les *barplots* autour du fond de carte indiquent le nombre de fois où un impact social ou économique a été mentionné dans le corpus d'articles (cf. Figure 2 sur la structure de données). La couleur représente le groupe de revenus, tandis que les cercles montrent le nombre proportionnel d'études de cas par pays.

On constate que la recherche est fortement concentrée dans les pays aux revenus élevés et intermédiaires, laissant des lacunes importantes pour les pays à revenu faibles. Les régions de l'Amérique du Nord et de l'Europe regroupent la majorité des études de cas documentées. Les pays à faible revenu, par exemple sur le continent africain, sont particulièrement sous-représentés.

En Amérique du Nord et en Europe, les études de cas portent principalement sur les **résultats économiques et financiers**, les **revenus et moyens de subsistance**, le **bien-être humain et la santé humaine**. En revanche, en Afrique, Asie, Amérique du Sud et Océanie, la littérature met davantage l'accent sur la **structure sociale**, l'**équité et les conflits**, mais aussi sur les **revenus et moyens de subsistance**.

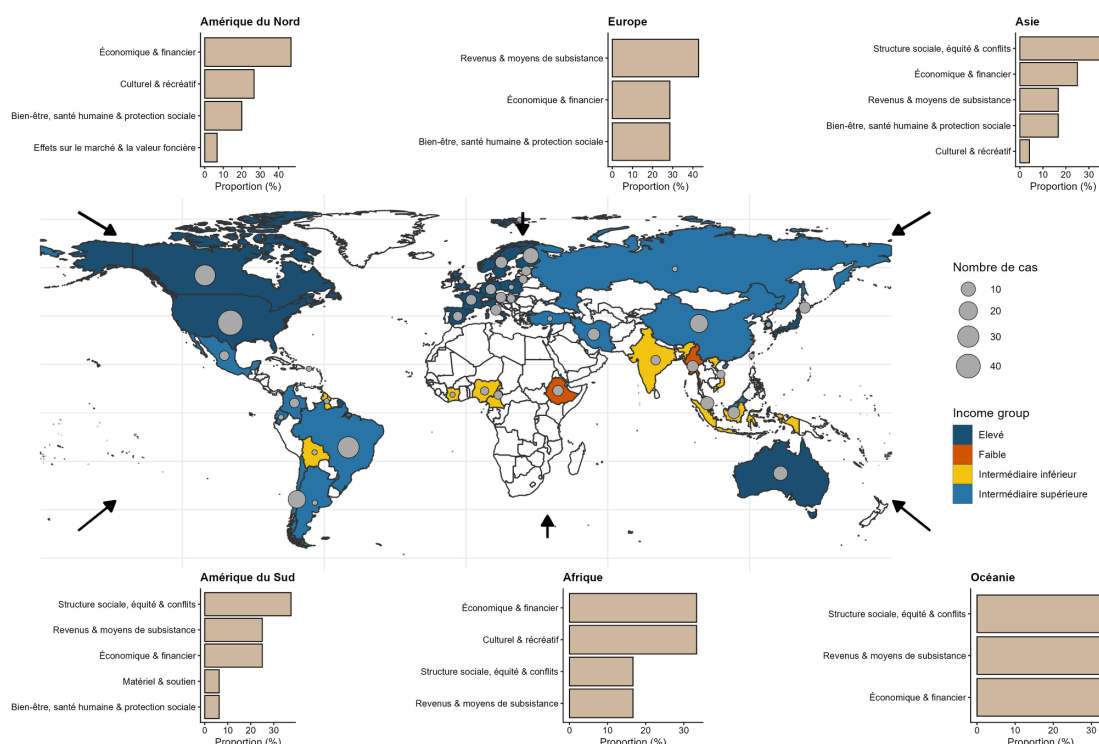


Figure 6. Répartition des articles retenus étudiant l'impact des pratiques de gestion forestière sur les externalités socio-économiques.

De manière similaire, la Figure 6 illustre la répartition mondiale des cas liant la gestion forestière aux services écosystémiques de régulation. Les études de cas sont réparties de manière inégale, les pays à revenus élevés et à revenus intermédiaires dominant la base de connaissances, en particulier en Amérique du Nord, en Europe, comme l'indiquent les centroïdes plus grands. En revanche, les pays à faibles revenus, notamment en Afrique restent non représentés en ce qui concerne les services de régulation. À l'échelle mondiale, le stockage et la séquestration du carbone constituent les services les plus fréquemment mentionnés, représentant la part la plus importante des études de cas sur tous les continents.

Les services liés à l'eau, tels que la qualité et la purification de l'eau, la rétention d'eau et la régulation des inondations, sont représentés de manière variable avec des différences régionales notables. L'Amérique du Nord, l'Europe et l'Asie mettent nettement l'accent sur la séquestration et le stockage du carbone, tandis que l'Océanie et Amérique du sud présentent une focalisation plus marquée sur la qualité et la purification de l'eau en complément du stockage du carbone. De manière générale, la pédogénèse et la qualité des sols, le contrôle de l'érosion et la pollinisation sont moins étudiés dans la plupart des régions.

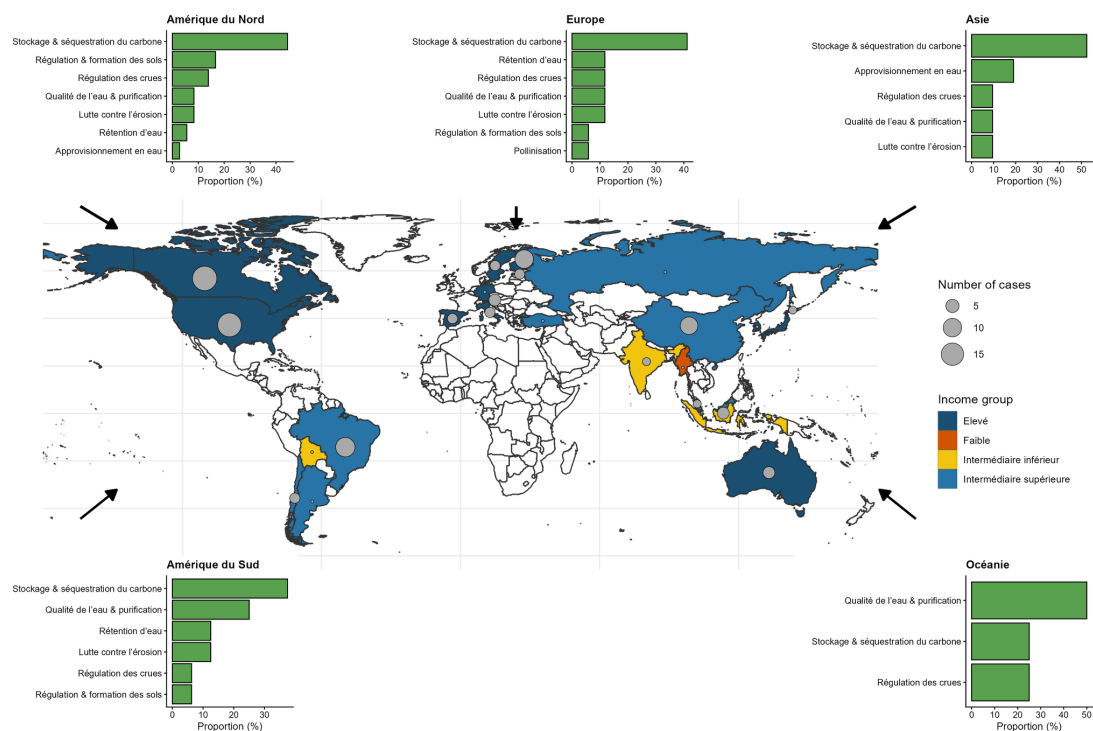


Figure 7. Répartition des articles retenus étudiant l'impact des pratiques de gestion forestière sur les externalités environnementales.

3. SYNTHÈSE NARRATIVE : LIENS ENTRE TYPES DE PEUPELEMENTS, PRATIQUES SYLVICOLES ET IMPACTS MULTIDIMENSIONNELS

23 publications ont été sélectionnées aléatoirement à partir de la base de données finale à l'aide du **Perplexity pro**. Ces articles couvrant simultanément au moins cinq des six dimensions analysées - type de peuplements, pratiques sylvicoles, impacts sur la biodiversité, fonctions écologiques, services de régulation, et/ou impacts sociétaux. Ces publications couvrent quatre continents (Europe, Asie, Amériques, Océanie) et une gamme de types de forêts et de pratiques de gestion au cours des années 2004 à 2024.

4.1 EFFETS DIRECTS DES PRATIQUES DE GESTION SUR LA BIODIVERSITÉ

Les pratiques les plus intensives comme les coupes rases et la conversion en plantations entraînent généralement une réduction importante de la biodiversité, tant spécifique que fonctionnelle. En effet, dans un cas des plantations forestières au Chili, Fierro *et al.* (2017) ont comparé les communautés de coléoptères saproxyliques adultes entre des forêts natives, des plantations d'eucalyptus et des plantations de pin de Monterey en échantillonnant 972 pièces de bois mort (troncs et souches) réparties dans ces différents types de peuplements. Ils montrent que le remplacement de forêts natives par des plantations exotiques (i.e. *Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*) réduit drastiquement la diversité, l'abondance et la structure trophique des coléoptères saproxyliques ; des indicateurs clés de la santé forestière. Dans le même sens, dans un contexte de programmes de reboisement en Australie pour prioriser la séquestration de carbone, St-Laurent *et al.* (2023) - en constituant une base de données regroupant 218 espèces et plus de 80 000 observations - montrent que les choix d'essences à planter peut générer des impacts négatifs sur la diversité en raison, notamment, de l'homogénéisation des peuplements. Dans un exemple d'étude de modélisation, Choi *et al.* (2022) ont évalué différents scénarios d'optimisation de la gestion forestière en Corée du sud afin de maximiser soit la conservation de la biodiversité, soit le stockage du carbone, puis ont comparé les compromis entre ces objectifs. En effet, les espaces optimaux pour chaque objectif se

chevauchent rarement, ce qu'il indique qu'il n'existe pas de solution sans compromis et que différentes stratégies de gestion sont nécessaires pour améliorer à la fois les stocks de carbone et la persistance de la biodiversité. Par ailleurs, Wong *et al.* (2024) montrent, grâce à un suivi par pièges photographiques mené dans trois forêts du Sabah (Bornéo malaisien), que la dégradation liée à l'exploitation forestière conventionnelle et à la conversion en plantations industrielles entraîne une baisse importante de la diversité et une modification de la composition des communautés animales. De plus, les auteurs soulignent que l'accroissement de l'accessibilité des forêts (i.e. via des routes, pistes forestières) renforce cet effet. En effet, la combinaison des deux facteurs génère des impacts cumulatifs synergiques sur l'occupation des espèces, la richesse spécifique et la structure des communautés. Enfin, les effets néfastes sont également observés dans les forêts boréales de Pin sylvestre : Rodriguez et Kouki (2015) ont étudié la sylviculture de rétention (EN : *retention forestry*) sur la production de baies par rapport à des forêts anciennes non exploitées. Malgré la mise en œuvre d'une sylviculture souvent considéré durable, ces sites exploités présentaient une production de *Vaccinium* sp. (les myrtilles et airelles) inférieure de 26 % à celle des forêts anciennes non exploitées, un résultat associé à une plus faible abondance d'abeilles (*Hymenoptera: Anthophila*). D'un autre côté, ils confirment que les coupes rases engendraient les impacts les plus importants, avec une réduction de 52,6 % de la production de myrtilles.

4.2 EFFETS SUR LES FONCTIONS ECOLOGIQUES : SOLS, STOCKAGE ET SEQUESTRATION DU CARBONE

Les effets fonctionnels sont également bien documentés dans la littérature scientifique. Par exemple, Vassallo *et al.* (2021) ont démontré - par une étude au nord d'Italie sur l'effet de la coupe sélective dans une forêt de *Fagus sylvatica* - que l'extraction de biomasse entraîne une modification profonde des stocks et des flux d'énergie. En effet, cette pression anthropique entraîne une diminution des flux biophysiques associés à la formation et au maintien de la biomasse, se traduisant par une réduction du capital naturel et de la capacité des forêts à fournir des services écosystémiques. En outre, malgré une gestion considérée "durable" génère tout de même une diminution de la biomasse et de l'énergie stockée. Dans les forêts tropicales de l'Amazonie méridionale, Feldpausch *et al.* (2005) montrent que l'exploitation forestière sélective entraîne des dommages physiques importants et des pertes de carbone significatives. De plus, toutes les autres activités associées à l'extraction du bois (ex. construction de routes, débardage, création de trouées...) réduisent fortement la surface foliaire par l'ouverture de la canopée, avec des effets particulièrement marqués comparé à des forêts non exploitées. Le débardage et la création de plateforme de stockage des grumes (EN : *log decks*) sont les pratiques d'exploitation forestière ayant le plus fort impact sur l'indice de surface foliaire (LAI), entraînant une ouverture de la canopée de 23 %, contre 6 % dans les forêts non exploitées. Les exportations moyennes de carbone liées aux grumes récoltées et transportées hors site étaient de 2,1 à 3,7 tonnes de carbone par hectare. Cela représente environ 1 à 3 % du carbone total stocké dans la biomasse aérienne des arbres et palmiers de plus de 10 cm de diamètre. Ainsi, les fonctions écosystémiques sont significativement affectées par l'exploitation forestière. Bischetti *et al.* (2016) ont évalué les effets de la sylviculture par trouées (EN : *gap-oriented forestry*) et de la coupe sélective sur le renforcement mécanique des sols par les racines et la stabilité des basins-versants, dans des forêts de conifères du nord de l'Italie. Leurs résultats montrent que le nombre total de racines reste relativement stable durant les trois premières années suivant la coupe, puis diminue fortement avant une dégradation quasi complète après environ 60 mois. À 54–60 mois, les racines fines et de petites tailles sont rares et fortement décomposées, avec également une diminution marquée de la densité racinaire. Ainsi, bien que la sylviculture par trouées soit souvent considérée comme favorable, elle peut affaiblir le renforcement racinaire des sols et donc réduire la stabilité des versants. Enfin, Kendrick *et al.* (2015) montrent que les modifications de la canopée influencent à la fois les processus de décomposition et la structure des communautés de fourmis. Ces changements entraînent à leur tour des variations des taux de décomposition et de la disponibilité en azote dans le sol. Ainsi, les services de régulation des sols, notamment la disponibilité en azote, sont affectés, ce qui met en évidence la sensibilité des réseaux d'interactions écologiques à certaines pratiques de gestion forestière.

4.3 EFFETS EN CASCADE : REGULATION HYDRIQUE ET CYCLE DE L'EAU

Au-delà des effets directs sur la biodiversité, les interventions sylvicoles peuvent entraîner des modifications des processus écologiques associés à la régulation hydrique, avec des répercussions potentielles sur le fonctionnement global des écosystèmes. Huang *et al.* (2022) ont analysé la coupe sélective (EN : *selection cutting*) et la coupe d'amélioration dans les écosystèmes karstiques en Chine. Ils démontrent que la suppression sélective des arbres libère les contraintes hydriques et favorise la succession végétale, mais modifie simultanément la structure du peuplement et les fonctions hydrologiques de l'ensemble du système. Ainsi, dans les parties basses des versants, l'élimination des espèces non-ligneuses afin de réduire la compétition a significativement diminué l'interception des précipitations par le couvert végétal, ce qui a contribué à augmenter l'humidité des sols superficiels. Au Japon, Kojima *et al.* (2024) étudient les éclaircies, avec un suivi du volume sur pied, de l'indice foliaire (LAI) (EN : *Leaf Area Index*) et des stocks de carbone. Les changements induits par une éclaircie ont été simulés en fonction des stades de développement du peuplement (25, 35, 45 et 55 ans). Les résultats montrent que les effets de l'éclaircie varient selon l'essence dominante et se traduisent par des modifications de l'indice foliaire (LAI), de la densité et de la hauteur des arbres. Chez les cyprès, l'éclaircie entraîne une augmentation du LAI malgré une diminution de la densité du peuplement, tandis que l'approvisionnement en eau est réduit par rapport aux forêts non gérées. À l'inverse, le cèdre apparaît relativement peu sensible à cette pratique – ainsi l'approvisionnement en eau est peu impacté. Les forêts feuillues sont généralement plus affectées par l'éclaircie que les forêts de conifères et tendent à bénéficier d'une augmentation de l'approvisionnement en eau. Bien que son ampleur varie selon les essences dominantes, l'approvisionnement en eau tend globalement à diminuer jusqu'à un âge de peuplement d'environ 40 ans. Wang *et al.* (2024), ont réalisé une étude de cartographie en Chine, dans les zones arides et semi-arides. Cette étude aide à sélectionner les sites prioritaires pour l'éclaircie forestière dans le but de réduire les déficits hydriques. En modélisant les compromis entre couverture forestière, ressources en eau et services écosystémiques, les auteurs montrent que les services de régulation (ex. ressource en eau, qualité, conservation des sols, séquestration carbone) sont tous impactés négativement par la densification forestière artificielle. Georgiev *et al.* (2021) ont utilisé des données issues du suivi de la qualité des cours d'eau entre 1985 et 2018 afin de quantifier les effets cumulés de perturbation et exploitation par les coupes sanitaires (EN : *salvage logging*) sur les concentrations annuelles en nitrates et en carbone organique dissous (COD). Les résultats montrent que les perturbations forestières ont entraîné une augmentation temporaire de la concentration en nitrates dans les cours d'eau, mais tout en restant inférieure à la limite de 50 mg·L⁻¹ recommandée par l'Organisation mondiale de la santé. Mais les coupes sanitaires n'ont pas exercé d'effet supplémentaire sur les concentrations en nitrates et en carbone organique dissous et, par conséquent, n'ont pas affecté la qualité de l'eau des cours d'eau. Ma *et al.* (2022) ont utilisé le modèle InVEST pour évaluer l'effet de différents scénarios de gestion des peuplements de bambou sur plusieurs services écosystémiques à échelle de la Province de Zhejiang. Leurs résultats montrent que les forêts plantées de bambou contribuent fortement au rendement en eau (EN : *water yield*), qui variait de 0 à 1034,98 mm avec une moyenne de 785,70 mm en l'année 2000, les valeurs les plus élevées étant observées dans le sud de la province. En revanche, ces peuplements étaient associés à une plus faible capacité de rétention d'eau et à des exportations de sédiments relativement élevées. En effet, les exportations de sédiments variaient de 0 à 7957,57 t/ha (moyenne de 22,65 t/ha en 2000), avec les valeurs les plus importantes dans les zones montagneuses méridionales. L'étude met ainsi en évidence des compromis entre l'amélioration de la disponibilité en eau et l'augmentation des risques d'érosion selon les scénarios de gestion considérés. En Europe, Seidl *et al.* (2019) ont modélisé l'évolution future de plusieurs services écosystémiques de régulation - notamment la régulation de l'eau, le contrôle de l'érosion - dans un paysage forestier montagnard de la vallée de Stubai (Tyrol, Autriche), selon différents scénarios climatiques et de gestion forestière. Le peuplement est conduit selon un système de régénération par trouées en bandes de petites ouvertures irrégulières ($\approx 550 \text{ m}^2$) le long des couloirs de débardage. Leur étude visait à quantifier les services et à évaluer l'importance relative de la gestion et du changement climatique. Les résultats montrent que la régulation de l'eau est légèrement favorisée par cette gestion forestière. Néanmoins, les forêts non-exploitées fournissent généralement davantage de services de régulation que les forêts en cours d'exploitation, surtout en matière de contrôle de l'érosion. Toutefois, une analyse de scénario futur, à l'horizon 2100 prédit que l'influence du changement climatique sera la

principale pression sur les forêts et les services écosystémiques associés à l'eau. Les auteurs soulignent que les choix de gestion actuels sont donc particulièrement importants pour renforcer la résilience des écosystèmes forestiers face aux conditions climatiques à court et moyen terme.

4.4 DIMENSIONS SOCIO-ECONOMIQUES, SANTE ET BIEN-ETRE HUMAIN

Les choix de gestion forestière peuvent également avoir des effets indirects sur les sociétés humaines, influençant à la fois les activités économiques, la santé et le bien-être des populations. Parkatti & Tahvonen (2020) mettent en évidence que les systèmes sylviculture à rotation courte, entraînent une surexploitation susceptible de réduire la diversité spécifique, tout en modifiant la structure des habitats et la diversité des essences à long terme, ce qui peut réduire le rendement économique de 35 % à 44 %. En Bolivie, Krueger (2004) a montré que la planification préalable des pistes de débardage, à coût marginal faible, réduit significativement les dommages à la structure de l'habitat (EN : *FCT damage*) par rapport à l'exploitation conventionnelle non planifiée. Les services de régulation des sols restent moins affectés avec une planification adaptée. Les implications économiques sont aussi claires : des ajustements à faible coût dans les pratiques d'exploitation de forêt tropicale peuvent substantiellement réduire les dommages écologiques. Au Myanmar, Schneider *et al.* (2020) ont étudié différentes trajectoires de changement d'usage des terres (exploitation forestière et plantations commerciales) sur les services écosystémiques et le bien-être des communautés locales. Les auteurs montrent que la conversion des forêts en plantations commerciales s'accompagne d'un déclin marqué du maintien de la biodiversité, de la régulation des flux hydrique et du microclimat, ainsi que des services d'approvisionnement associés aux plantes sauvages et au bois de feu. Cependant, les résultats révèlent toutefois des effets contrastés sur certaines dimensions sociales : notamment la santé, la sécurité, l'accès à l'éducation ou les conditions matérielles de vie, peuvent s'améliorer dans les zones concernées. Par ailleurs, il semble y avoir un consensus clair : la conversion des terres en plantations a entraîné une perte de bien-être pour les populations autochtones dépendantes des ressources forestières natives. De plus, dans certains cas particuliers, bien que les concessions aux compagnies de plantation aient été accordées sur des terres officiellement classées comme « terres en jachère » (i.e. des terres qui ne sont pas formellement utilisées à des fins agricoles) celles-ci étaient en réalité utilisées par les communautés locales pour le pâturage ou la collecte de ressources naturelles. La perte d'accès à ces espaces a ainsi réduit la capacité de ces communautés à assurer leur subsistance, leur sécurité alimentaire et leur participation à la vie communautaire, illustrant les compromis potentiels entre développement économique et maintien du bien-être des populations. Cerda *et al.* (2020) ont analysé les effets à long terme de la politique forestière chilienne, notamment dû aux effets du décret-loi 701 de 1974, qui a soutenu massivement le reboisement à travers des subventions publiques favorisant les plantations d'essences exotiques telles que le pin et l'eucalyptus. Bien que cette politique ait contribué au développement économique, plusieurs effets négatifs ont été associés à son déploiement : l'expansion des plantations, concentrée principalement dans les régions du centre-sud du Chili, s'est accompagnée d'une réduction des superficies de forêts naturelles, d'une perte de biodiversité et d'une dégradation de divers services écosystémiques. Par ailleurs, les auteurs soulignent que la conversion des paysages forestiers en monocultures d'espèces exotiques est associée à une détérioration des conditions socio-économiques des populations rurales, ainsi qu'à une augmentation des conflits sociaux et de l'abandon des terres. Cette étude met ainsi en évidence les compromis potentiels entre les objectifs de production forestière et la préservation des fonctions écologiques et sociales des territoires.

En complément, Costa *et al.* (2021) ont montré que la destruction des habitats liée à la production de bois d'œuvre réduisait à la fois les services écosystémiques, mais aussi le bien-être humain, en créant des gradients spatiaux d'inégalités dans l'accès aux services écosystémiques ; les communautés les plus pauvres et les plus dépendantes des ressources forestières étaient systématiquement les plus exposées aux conséquences des pertes de biodiversité. Bousfield *et al.* (2020) ont mis en évidence plusieurs impacts sociaux potentiels des coupes sélectives. Celles-ci peuvent restreindre l'accès des populations locales aux terres et aux ressources dont elles dépendent pour leurs moyens de subsistance, générant parfois des conflits d'usage. En particulier, l'exploitation forestière peut affecter les essences fournissant des produits forestiers non ligneux utilisés par les communautés locales. En parallèle, les infrastructures associées à l'exploitation forestière, notamment les routes et pistes, peuvent favoriser les activités illégales

(orpailleurs, exploitants forestiers clandestins, trafiquants), avec des conséquences potentielles en matière de conflits sociaux et d'atteintes aux droits des populations locales.

Guégan *et al.* (2020) ont analysé les mécanismes par lesquels les changements d'usage des forêts, tels que la déforestation ou les coupes sélectives, favorisent l'émergence et la propagation de maladies infectieuses chez l'humain. Leurs résultats suggèrent que la production de bois dans les régions tropicales peut accroître les contacts entre les populations humaines et la faune sauvage, facilitant ainsi la transmission de nouveaux agents pathogènes. Les auteurs soulignent toutefois que ce phénomène résulte d'un processus complexe, dans lequel l'intensification des interactions entre animaux sauvages, habitats naturels, animaux domestiques et populations humaines dans les zones soumises à la déforestation constitue un facteur majeur de l'émergence de nouvelles maladies infectieuses. Enfin, aux États-Unis, Huang et al. (2013) montrent que les traitements d'éclaircie peuvent accroître les revenus liés au carbone. En particulier, un régime de gestion combinant une éclaircie et des brûlages dirigés tous les vingt ans a généré le bénéfice net le plus élevé, atteignant 5 029,74 \$/ha.

4. PERSPECTIVES

5.1 LIMITES DE L'ETUDE LIEES A L'USAGE DE L'IA

L'utilisation de l'intelligence artificielle (IA), bien qu'utile pour traiter de grands volumes de littérature scientifique, peut introduire certains biais (Flemyng et al., 2025). Par exemple, des *biais informationnels* ou *biais lié aux données* peuvent survenir, car les modèles de type *generative pre-trained transformer* (GPT) reflètent de manière disproportionnée le corpus textuels sur lesquels ils ont été entraînés (Hanna et al., 2025). Par ailleurs, des *erreurs liées à l'interprétation* peut émerger lorsque le modèle interprète incorrectement le contexte d'un texte ou simplifie excessivement les résultats rapportés, ce qui peut renforcer les biais déjà présents dans les sources analysées (Hanna et al., 2025).

Cela implique ainsi une distinction importante à faire entre les **synthèses descriptives de la littérature** (*evidence summaries*) et les **synthèses systématiques des connaissances** (*systematic evidence syntheses*). Alors que les synthèses systématiques suivent des lignes directrices et des recommandations rigoureuses – élaborées par des organismes de référence tels que la Collaboration for Environmental Evidence ou Cochrane (Page et al., 2021 ; Collaboration for Environmental Evidence, 2022) – afin de garantir la reproductibilité des résultats, de prendre en compte la validité interne des études et d'évaluer le niveau de confiance associé aux résultats pour éclairer la prise de décision (Flemyng et al., 2025), les synthèses descriptives visent principalement à explorer, organiser et catégoriser la littérature afin de fournir une vue d'ensemble cohérente d'un champ de recherche parfois complexe (ce qui correspond à l'objectif de la présente étude).

En effet, les approches fondées sur l'apprentissage automatique permettent de parcourir de vastes corpus de publications afin d'identifier des tendances et des régularités apparentes, tout en facilitant la traduction des résultats scientifiques en catégories accessibles et compréhensibles. Cette approche est particulièrement pertinente lorsque l'objectif est d'obtenir une (Clark et al., 2025; Flemyng et al., 2025)vision exploratoire d'un domaine de recherche (Clark et al., 2025 ; Flemyng et al., 2025). Par conséquent, il est essentiel de distinguer la **visibilité** d'un résultat (c'est-à-dire ce qui apparaît fréquemment ou de manière récurrente dans la littérature) et sa **robustesse scientifique** (c'est-à-dire ce qui est réellement soutenu par les études scientifiques après analyse critique, pour fournir une aide à la décision). Les résultats présentés dans cette revue doivent ainsi être considérés comme des éléments d'orientation permettant d'alimenter la réflexion, d'identifier des tendances ou de structurer des hypothèses, plutôt que comme des conclusions définitives (Clark et al., 2025). Dans cette perspective, notre travail constitue une étape exploratoire pertinente, en adéquation avec les objectifs initiaux. Toutefois, si l'objectif est, à terme, d'éclairer des décisions nécessitant un niveau élevé de confiance, il gagnerait à être consolidé par une évaluation systématique formelle.

5.2 PERSPECTIVES POUR LA RECHERCHE

La distribution géographique des études montre que les effets sociaux et environnementaux de la gestion forestière sont étudiés de manière inégale selon les régions et le niveau de revenu des pays. Dans les pays à revenus élevés, la recherche se concentre sur les aspects économiques et le bien-être individuel, tandis que dans les pays à revenus faibles, l'attention se porte davantage sur la structure sociale, l'équité et les conflits. En ce qui concerne les services de régulation, la recherche est nettement focalisée sur les questions liées à la capacité de séquestration de carbone et de l'approvisionnement en eau, mais les thématiques liées aux sols semblent moins abordées. Ces observations suggèrent que la compréhension des impacts sociaux et environnementaux reste peut-être partielle et biaisée géographiquement, ce qui peut limiter la possibilité de formuler des recommandations adaptées aux contextes locaux. Pour la prise de décision, il est donc crucial de renforcer la recherche notamment sur les dimensions sociales dans les régions sous-représentées, en intégrant les aspects d'équité afin d'élaborer des stratégies de gestion forestière « multifonctionnelles », durables et socialement justes.

Les travaux sur les coupes rases montrent que ce mode de gestion entraîne des effets interconnectés à la fois sur la biodiversité, les services écosystémiques et les dynamiques socio-économiques. Cette complexité souligne l'importance d'intégrer simultanément les dimensions écologiques et sociales dans les recherches futures pour mieux comprendre les compromis entre production de bois, régulation hydrique, séquestration du carbone et maintien de la biodiversité. Ces résultats suggèrent qu'une attention particulière devrait être portée à ces interventions à fort impact, qui modifient la structure des écosystèmes et leur capacité à fournir des services essentiels aux sociétés, afin d'intégrer les rôles économiques, environnementaux et sociaux des forêts.

5.3 IMPLICATIONS POUR LA GESTION FORESTIERE

Les résultats synthétisés montrent que la gestion forestière influence fortement et de manière multidimensionnelle la biodiversité, le fonctionnement des écosystèmes et le bien-être humain. Les pratiques intensives, telles que les coupes rases et la conversion en plantations, sont généralement associées à une forte diminution de la biodiversité, à une dégradation des sols et à une réduction importante des capacités de régulation du carbone et de l'eau). À l'inverse, des approches plus « durables » - telles que la sylviculture à couvert continu, les pratiques imitant les perturbations naturelles ou certaines formes de gestion multi-objectifs - peuvent atténuer ces impacts. Les résultats soulignent également l'importance des effets en cascade et des dépendances au contexte (écologique, climatique et institutionnel), ainsi que le rôle clé de certaines espèces dans la stabilité des systèmes.

Ces éléments impliquent que la gestion forestière ne doit pas reposer sur des approches « mono-objectifs ». Elle nécessite des stratégies adaptées localement, intégrant explicitement les arbitrages entre biodiversité, carbone, eau et usages socio-économiques. Les cadres actuels de durabilité apparaissent parfois insuffisants pour détecter des dégradations progressives de la biodiversité, ce qui souligne la nécessité de disposer d'indicateurs et d'outils d'aide à la décision permettant d'évaluer objectivement les avantages et les inconvénients. Enfin, les impacts sur les communautés humaines - en termes de moyens de subsistance, de santé et d'inégalités - doivent être pleinement intégrés dans les décisions de gestion, afin de garantir une approche véritablement durable et socialement acceptable.

5. MATERIEL ET METHODES

Pour ce travail, nous avons réalisé une cartographie systématique de la littérature académique. Nous avons mobilisé à la fois des méthodes traditionnelles en synthèse des connaissances, suivant les préconisations de la *Collaboration for Environmental Evidence* (CEE, 2018). et des outils d'apprentissage automatique, formes d'intelligence artificielle (IA) supervisées - dites « *Large Language Models (LLM)* ». Cette approche nous a permis de synthétiser le paysage de connaissances portant sur la gestion forestière,

la perte de biodiversité/fonctions écologiques et les conséquences sociales, économiques et environnementales associées (ci-après dénommées « externalités »).

5.1. RECHERCHE DE LITTÉRATURE ET PREMIERE PHASE DE TRI DES ETUDES

Les recherches bibliographiques ont été menées dans cinq bases de données de littératures : Web of Science Core Collection (WOSCC), MEDLINE, PubMed, Google Scholar et l'index de citations SciELO. Le processus de sélection s'est d'abord appuyé sur une lecture « manuelle » (c.à.d. par humain) des titres et des résumés simultanément. Puis, une sélection de textes intégraux avec l'aide de méthodes d'apprentissage automatique.

Nous avons évalué la pertinence des titres et résumés des articles au regard de critères prédéfinis (cf. protocole Dupuis et al., 2024 et Table A3 en annexe). Pour être inclus à cette phase, les documents devaient satisfaire aux critères suivants :

- être indexés en langue anglaise ;
- établir un lien entre gestion forestière et un déclin observé ou modélisé de la biodiversité ou des fonctions écologiques.

L'ensemble du processus de sélection systématique est présenté dans l'annexe (cf. partie 1.3).

5.2. EXTRACTION DES DONNEES ASSISTEE PAR *LARGE LANGUAGE MODELS*

Nous avons utilisé des méthodes d'apprentissage automatique (DeepSeek V3.2, 7B) afin de faciliter l'extraction de données narratives et catégorielles. DeepSeek-V3.2 7B (un modèle de type « *Generative Pre-trained Transformer* ») est un « décodeur » (les modèles décodeurs sont pré-entraînés sur des données textuelles à grande échelle). Grâce à un apprentissage par renforcement évolutif (en anglais *scalable reinforcement learning*), il permet de réaliser des tâches spécifiques telles que la classification de textes, produire des réponses à des questions (*via* la formulation de *prompts*) et les résumer automatiquement.

Ainsi, nous avons élaboré et testé, sur un sous-ensemble de documents inclus et exclus (ci-après dénommé « échantillon de test »), une série de *prompts*. Ces prompts ont été exécutés à plusieurs reprises sur l'échantillon de test, avec un ajustement et une amélioration progressifs de leur formulation à chaque itération.

Ensuite, nous avons utilisé le modèle « DeepSeek V3.2 7B » déjà cité pour sélectionner les articles qui font état d'externalités sociales positives ou négatives (par exemple en termes de santé, de bien-être, ou sur des aspects économiques), ou d'effets environnementaux indirects en cascade (par exemple des réponses de services de régulation) (cf. Figure 2 pour les étapes de sélection de documents).

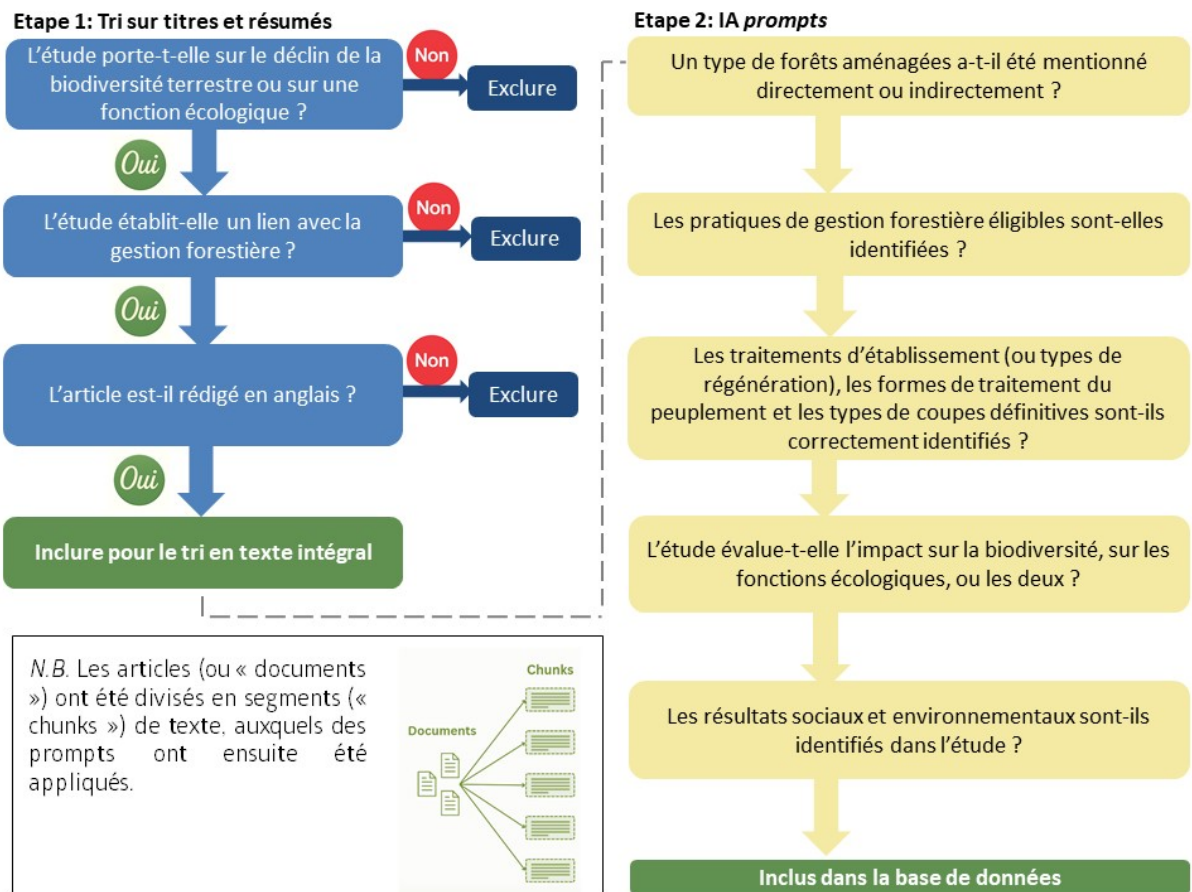


Figure 8. Schéma du processus de sélection des articles. Les articles (« documents ») identifiés ont d'abord été triés par titres et résumés (à gauche) manuellement. Puis, à l'aide de l'IA, les documents ont été divisés en segments (« chunks ») de texte. Des prompts (à droite) ont été appliqués à chaque segment afin d'identifier (i) les types de forêts mentionnés, (ii) les pratiques de gestion forestière éligibles ainsi que (iii) les impacts sur la biodiversité, les fonctions écologiques, les services de régulation, et les impacts sociétaux mentionnés. Les articles ont été retenus lorsqu'au moins une pratique de gestion forestière éligible était clairement mentionnée et associée à un impact sur la biodiversité et/ou fonction écologique, et/ou qu'une externalité sociale et/ou environnemental était associée.

5.3. DECLARATION SUR L'UTILISATION DE L'IA

Les décisions d'utiliser l'IA n'ont pas été initialement considérées lors de la rédaction du protocole de cette cartographie systématique. Il s'agit donc d'une déviation de notre méthodologie initiale dans Dupuis *et al.* 2024. Nous avons utilisé **DeepSeek V3.2 7B [2025/12/01]** - développé par **DeepSeek AI, High-flyer** - pour la sélection d'articles à l'étape de tri sur texte-entier, et pour l'extraction de données descriptive, dans le cadre du processus d'une **synthèse narrative de la littérature**. L'outil **DeepSeek V3.2 7B** a été téléchargé depuis la plateforme **Hugging Face** et utilisé conformément au guide utilisateur. Une proportion des résultats produits par le **DeepSeek V3.2 7B** a été vérifiée par un humain (*EN: human oversight*) et ainsi jugés justifiés pour leur utilisation dans notre synthèse, car nous avons déterminé qu'ils ne compromettaient pas la fiabilité des conclusions sur l'ensemble de la revue. Les étapes de sélection des études et d'extraction des données assistées par les modèles de langage (LLM) sont reproductibles grâce à l'archivage des prompts, et des paramètres utilisés. Le flux de travail peut donc être réappliqué au même corpus d'articles afin de générer des résultats structurés comparables, sous réserve des variations stochastiques des paramètres du modèle.

Enfin, nous avons également utilisé **Perplexity Pro** afin d'identifier une liste non exhaustive d'articles pertinents pour alimenter la synthèse narrative.

6. REFERENCES

- Agnoletti, M., Santoro, A., 2015. Cultural values and sustainable forest management: the case of Europe. *Journal of Forest Research* 20, 438–444. <https://doi.org/10.1007/s10310-015-0500-7>
- Betts, M.G., Yang, Z., Hadley, A.S., Smith, A.C., Rousseau, J.S., Northrup, J.M., Nocera, J.J., Gorelick, N., Gerber, B.D., 2022. Forest degradation drives widespread avian habitat and population declines. *Nat Ecol Evol* 6, 709–719. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01737-8>
- Biggs, R., Schlüter, M., Biggs, D., Bohensky, E.L., BurnSilver, S., Cundill, G., Dakos, V., Daw, T.M., Evans, L.S., Kotschy, K., Leitch, A.M., Meek, C., Quinlan, A., Raudsepp-Hearne, C., Robards, M.D., Schoon, M.L., Schultz, L., West, P.C., 2012. Toward Principles for Enhancing the Resilience of Ecosystem Services. *Annual Review of Environment and Resources* 37, 421–448. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-051211-123836>
- Brumberg, H.D., Dee, L.E., Murayama, H., Alvarado Barrientos, J.J., Bessesen, B., Bouffard, M.G., Burgess, M.G., Cortés, J., Furey, S., Hernández, N., Luger, A.M., Madden, M., Pauline, E., Schmitt, R.J.P., Siegel, K.J., Vargas-Araya, L., Whitworth, A., Newton, P., 2026. Riparian vegetation reduces coastal turbidity. *Commun. Sustain.* 1, 29. <https://doi.org/10.1038/s44458-025-00031-5>
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava, D.S., Naeem, S., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Ceballos, G., Ehrlich, P.R., Barnosky, A.D., García, A., Pringle, R.M., Palmer, T.M., 2015a. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances* 1, e1400253. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>
- Ceballos, G., Ehrlich, P.R., Barnosky, A.D., García, A., Pringle, R.M., Palmer, T.M., 2015b. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances* 1, e1400253. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1400253>
- Clark, J., Barton, B., Albarqouni, L., Byambasuren, O., Jowsey, T., Keogh, J., Liang, T., Moro, C., O'Neill, H., Jones, M., 2025. Generative artificial intelligence use in evidence synthesis: A systematic review. *Research Synthesis Methods* 16, 601–619. <https://doi.org/10.1017/rsm.2025.16>
- Collaboration for Environmental Evidence, 2018. Guidelines for Authors – Environmental Evidence. URL <https://environmentalevidence.org/information-for-authors/> (accessed 8.22.22).
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S.J., Kubiszewski, I., Farber, S., Turner, R.K., 2014. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change* 26, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- Dupuis, L., Langridge, J., Jacques, C., Jactel, H., 2024. What are the economic, social, and ecological impacts of the loss of ecosystem services caused by forest management practices? A review protocol: a Other aggregative reviews (e.g. Meta-analyses, Critical reviews) Protocol. Collaboration for Environmental Evidence (CEE). <https://doi.org/10.57808/PROCEED.2024.11>
- Flemmyng, E., Noel-Storr, A., Macura, B., Gartlehner, G., Thomas, J., Meerpohl, J.J., Jordan, Z., Minx, J., Eisele-Metzger, A., Hamel, C., Jemioło, P., Porritt, K., Grainger, M., 2025. Position Statement on Artificial Intelligence (AI) Use in Evidence Synthesis Across Cochrane, the Campbell Collaboration, JBI, and the Collaboration for Environmental Evidence 2025. *Campbell Systematic Reviews* 21, e70074. <https://doi.org/10.1002/cl2.70074>
- Hanna, M.G., Pantanowitz, L., Jackson, B., Palmer, O., Visweswaran, S., Pantanowitz, J., Deebajah, M., Rashidi, H.H., 2025. Ethical and Bias Considerations in Artificial Intelligence/Machine Learning. *Modern Pathology* 38. <https://doi.org/10.1016/j.modpat.2024.100686>
- Hanski, I., 2011. Habitat Loss, the Dynamics of Biodiversity, and a Perspective on Conservation. *AMBIO* 40, 248–255. <https://doi.org/10.1007/s13280-011-0147-3>
- Hartig, T., Mitchell, R., Vries, S. de, Frumkin, H., 2014. Nature and Health. *Annual Review of Public Health* 35, 207–228. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182443>
- IPBES, 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). Zenodo, IPBES secretariat, Bonn, Germany.

- Jactel, H., Bauhus, J., Boberg, J., Bonal, D., Castagneyrol, B., Gardiner, B., Gonzalez-Olabarria, J.R., Koricheva, J., Meurisse, N., Brockerhoff, E.G., 2017a. Tree Diversity Drives Forest Stand Resistance to Natural Disturbances. *Curr Forestry Rep* 3, 223–243. <https://doi.org/10.1007/s40725-017-0064-1>
- Jactel, H., Bauhus, J., Boberg, J., Bonal, D., Castagneyrol, B., Gardiner, B., Gonzalez-Olabarria, J.R., Koricheva, J., Meurisse, N., Brockerhoff, E.G., 2017b. Tree Diversity Drives Forest Stand Resistance to Natural Disturbances. *Curr Forestry Rep* 3, 223–243. <https://doi.org/10.1007/s40725-017-0064-1>
- Knoke, T., Ammer, C., Stimm, B., Mosandl, R., 2008a. Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. *Eur J Forest Res* 127, 89–101. <https://doi.org/10.1007/s10342-007-0186-2>
- Knoke, T., Ammer, C., Stimm, B., Mosandl, R., 2008b. Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. *Eur J Forest Res* 127, 89–101. <https://doi.org/10.1007/s10342-007-0186-2>
- Magoso, S., Maseko, M.S.T., Buthelezi, L., Downs, C.T., 2025. Local perceptions of the cultural and ecological significance of Southern Mistbelt Forests in KwaZulu-Natal, South Africa. *Trees, Forests and People* 21, 100982. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100982>
- Millennium Ecosystem Assessment, n.d.
- Muys, B., Angelstam, P., Bauhus, J., Bouriaud, L., Jactel, H., Kraigher, H., Müller, J., Pettorelli, N., Pötzelsberger, E., Primmer, E., Svoboda, M., Thorsen, J.B., Van Meerbeek, K., 2022. Forest Biodiversity in Europe, From Science to Policy 13. ed. European Forest Institute.
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P., Moher, D., 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pukkala, T., 2022. Assessing the externalities of timber production. *Forest Policy and Economics* 135, 102646. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102646>
- Thomas, J., Flemyng, E., Noel-Storr, A., 2024. Responsible use of AI in evidence Synthesis (RAISE): recommendations and guidance.
- Toivonen, J., Kangas, A., Maltamo, M., Kukkonen, M., Packalen, P., 2023. Assessing biodiversity using forest structure indicators based on airborne laser scanning data. *Forest Ecology and Management* 546, 121376. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121376>

7. ANNEXES : METHODE COMPLETE

7.1 Question de recherche principale

La question de recherche principale est la suivante : **Quels sont les effets externes socio-écologiques et économiques de la perte de biodiversité, de fonctions et de services de soutien causée par les pratiques de gestion forestière ?** Les composantes de la question sont décrites ci-dessous :

Table A1. P-E-O cadrage : les éléments de la question principale

Eléments de P-E-O	Définition
Population	Biodiversité et ses bénéfices/services en déclin, homogénéisation de la structure de forêt.
Exposition	Toute pratique de gestion forestière pour l'extraction de bois d'œuvre ayant des impacts négatifs sur la biodiversité, les fonctions et les services de soutien
Outcomes	Effets externes positifs et négatifs : Économiques : production, PIB, prix Santé : santé humaine, années de vie, taux de mortalité, espérance de vie Bien-être : conditions de vie, accès à la santé et à l'éducation, sécurité et équité Développement : Indice de développement humain (IDH), pauvreté

7.2 La recherche bibliographique

Équations de recherche:

Table A2. Equation de recherche utilisées dans notre recherche en ligne (WOSCC) pour identifier la littérature scientifique pertinente. Caractères génériques : l'astérisque (*) représente n'importe quel groupe de caractères, y compris aucun caractère (ex. clearfell* = clearfelled ou clearfelling ou clearfell), le signe dollar (\$) représente un caractère unique ou aucun caractère (ex. service\$ = service ou services).

Base de données	Equations de recherche utilisées
-----------------	----------------------------------

Web of Science (WoSCC)	TS=((biodiversity OR species OR "ecosystem service\$" OR "provisioning service\$" OR "regulating service\$" OR "regulation service\$" OR "cultural service\$" OR "recreational service\$" OR "carbon storage" OR "carbon fixation" OR "carbon sequest*" OR "cultural service\$" OR "recreational service\$" OR "nursery service\$" OR "native forest\$" OR "sacred forest\$" OR "heritage forest\$" OR natur* OR wood) NEAR/1 (loss* OR declin* OR degrad* OR decreas* OR reduc* OR disturbance\$ OR damage)) AND TS = ((*forest* OR stand\$ OR plantation\$) AND (management OR harvest* OR logging OR cut* OR tend* OR thin* OR retention OR regenerat* OR convert* OR plant* OR clear-cut OR "clear cut" OR "clear fell*" OR clearfell* OR clear-fell* OR "stump removal" OR fertilis* OR fertiliz* OR amendment\$ OR plough* OR weed* OR native OR non-native OR exotic OR pure OR mixed OR monoculture OR *even-aged OR "*even aged" OR shelterwood\$)) AND TS=(((impact\$ OR consequence\$ OR externalit*) NEAR/1 (social OR health OR environmental OR "socio-economic" OR economic)) OR GDP OR dollar OR price\$ OR cost\$ OR value\$ OR yield\$ OR "year\$ of life" OR disease\$ OR "death rate" OR mortality OR "life expectancy" OR inequalit* OR vulnerability OR "human development index" OR "healthy life years" OR "disability-adjusted life expectancy" OR DALY OR HALE OR poverty OR well-being OR wellbeing OR conflict\$ OR lawsuit\$ OR deforestation)
------------------------	--

7.3 L'inclusion et d'exclusion des articles

Table A3. Détails sur les critères d'inclusion et d'exclusion selon nos composantes P-E-O (voir table A1).

Éléments de P-E-O		Explication
Critères d'inclusion		
Population éligible	Toutes preuves de déclin des populations d'espèces terrestres sauvages, natives/indigènes, liées aux forêts et fournissant un service écosystémique, et/ou preuves d'une perte de fonction écosystémique.	Espèces sauvages issues d'environnements naturels, non domestiquées, ni cultivées. Toutes les classes écologiques fournissant des services écosystémiques à l'humain (ex. pollinisateurs, prédateurs, plantes contribuant à la purification de l'air et de l'eau, racines stabilisant les sols).
Exposition éligible	Toutes les pratiques de gestion forestière (pour l'extraction de bois d'œuvre).	Toute forme d'extraction de biomasse dans des peuplements gérés : éclaircie, coupe rase, coupe sélective, rétention d'arbres ou plantation.
Externalités éligibles	Tous les effets externes et coûts (« externalités ») des pratiques de gestion forestière liés à la perte de biodiversité et des services écosystémiques associés.	Indicateurs économiques, sanitaires et de bien-être : PIB, rendement, santé humaine (maladies, mortalité, espérance de vie, développement).
Critères d'exclusion		

Population non éligible	Espèces domestiques, leurs services écosystémiques associés.	invasives, marines et services écosystémiques associés.	Seules les espèces natives sont éligibles
Intervention non éligible	Toute activité humaine ne relevant pas de la gestion forestière.	Activités autres que la gestion forestière/extraction de biomasse ligneuse, ou lorsque l'extraction de bois n'est pas l'objectif principal (plantations non ligneuses : hévéa, palmier à huile, agroforesterie, brûlis ; autres systèmes de plantation : soja, riz, coton, biocarburants hors bois-énergie, cacao, café, tabac, anacardier). Pratiques non dommageables à la biodiversité ou aux services écosystémiques. Mention du changement climatique comme intervention principale sur la biodiversité, ou événements stochastiques (par ex. épidémies de coléoptères ou incendies).	
Externalités non éligibles	Aucune mention d'effet, d'impact ou d'externalités négatives, ou impacts non liés à la perte de biodiversité, de fonctions ou de services écosystémiques.	Résultats ne permettant aucune interprétation des impacts économiques, environnementaux, sociaux ou sanitaires.	

Définitions des pratiques de gestion forestières (interventions)

Les pratiques éligibles pour notre étude sont tirées de Trentanovi *et al.* 2023. Les pratiques de gestion, c'est-à-dire les processus d'extraction du bois (y compris les cycles de régénération) ont été retenus.

Table A4. Type de pratiques de gestion forestières d'après Trentanovi *et al.* 2023

Stade de traitement	Type de pratiques de gestion forestière	Définition	Référence(s)
Types d'installation du peuplement	Plantation	Régénération artificielle par plantation de jeunes arbres.	https://scf.rn.can.gc.ca/termes ONF Trentanovi et al. 2023
	Semi direct	Régénération artificielle par semis direct dans la forêt.	
	Régénération naturelle Afforestation	Régénération naturelle Création d'un peuplement sur un terrain non antérieurement boisé.	
Mesures d'amélioration du site	Herbicide & fertilisation Débroussaillage	Préparation chimique du site employée pour tuer les végétaux ou pour inhiber leur croissance. Action d'enlever, par des moyens mécaniques ou manuellement, la végétation herbacée et ligneuse indésirable.	https://scf.rn.can.gc.ca/termes
Type de traitements (y compris intermédiaires)	Coupe rase	Le peuplement forestier est entièrement exploité en une seule opération, laissant une zone dégagée sans arbres.	
	Rétention variable	Le peuplement forestier est exploité lors d'une intervention, à l'exception de certains arbres isolés ou groupes d'arbres (vivants ou morts) qui sont délibérément épargnés	

	Coupe par étage	Les arbres d'un peuplement forestier sont complètement exploités au moyen d'un nombre limité de coupes progressives, conçues pour favoriser la régénération en utilisant l'abri et la source de graines des arbres restant.	
	Coupe par bouquet	Les zones de coupe réparties de manière uniforme. Incluses à la fois la coupe sélective d'arbres isolés et la coupe sélective en groupes.	
	Taillis simple	Les arbres provenant de rejets de souche sont entièrement exploités en une seule opération.	
	Éclaircie	Méthode d'espacement pratiquée dans un peuplement non mature, destinée à accélérer la croissance des arbres résiduels.	
	Piste de débardage	Utilisation des voie aménagée en forêt permettant la circulation des engins forestiers pour extraire et transporter les bois abattus.	
	Coupe de récupération	Coupe d'arbres morts ou en voie de détérioration avant que leur bois perde toute valeur économique (Endommagés par le feu, les insectes)	
	Coupe de jardinage	Coupe d'arbres choisis individuellement, ou par petits groupes, pour en récolter, et amener le peuplement à une structure irrégulière.	
Autres traitement intermédiaires	Abattage dirigé	Coupe de bois réalisée de manière ciblée, afin de répondre à des objectifs d'aménagement ou de gestion forestière.	
Type de dernière coupes	Coupe définitive	Il s'agit de la dernière coupe de la dernière phase dans le cycle de régénération d'un peuplement.	
	Coupe partielle	Terme général décrivant toute coupe enlevant une partie des arbres d'un peuplement.	
Autres types de dernière coupes	Exploitation forestière conventionnelle et à impact réduit	Les : modes d'exploitation du bois reposant sur les pratiques habituellement employées dans la gestion forestière. (terme utilisé si pratiques spécifiques ne sont pas fourni par les auteurs)	
	Récolte de bois	Terme général désignant la récolte du peuplement ou un ensemble d'arbres couvrant un certain espace. (Terme utilisé si pratiques spécifiques ne sont pas fourni par les auteurs.)	
Type de peuplements exploités	Plantation de bois d'œuvre	Forêts établies par semis ou plantation dans le but principal d'atteindre des objectifs économiques liés explicitement à la production de biomasse ligneuse (par exemple : bois d'œuvre et autres produits ligneux comme la pâte à papier).	Stephens & Wagner, 2007; Gardner et al., 2008; FAO, 2020
	Futaie régulier	Les futaies régulières sont ceux où l'écart d'âge entre les arbres d'un même peuplement ne dépasse pas environ 20 %. (Les forêts plantées constituent le meilleur exemple de peuplements réguliers.)	Bettinger et al., 2017
	Futaie irrégulier	Les futaies irrégulières sont parfois appelés sont généralement considérés comme ceux contenant plus de deux ou trois classes d'âge distinctes ou cohortes d'âge.	Bettinger et al., 2017

Références

Bettinger, P., Boston, K., Siry, J.P., Grebner, D.L., 2017. Forest Management and Planning. Academic Press.

Boerema, A., Peeters, A., Swolfs, S., Vandevenne, F., Jacobs, S., Staes, J., Meire, P., 2016. Soybean Trade: Balancing Environmental and Socio-Economic Impacts of an Intercontinental Market. *PLOS ONE* 11, e0155222.

Gardner, T.A., Hernández, M.I.M., Barlow, J., Peres, C.A., 2008. Understanding the biodiversity consequences of habitat change: the value of secondary and plantation forests for neotropical dung beetles. *Journal of Applied Ecology* 45, 883–893.

Quine, C.P., Fuller, R.J., Smith, K.W., Grice, P.V., 2007. Stand management: a threat or opportunity for birds in British woodland? *Ibis* 149, 161–174.

Stephens, S.S. and Wagner, M.R. (2007) Forest plantations and biodiversity: A fresh perspective. *Journal of Forestry*, 105, 307-313.

Trentanovi, G., Campagnaro, T., Sitzia, T., Chianucci, F., Vacchiano, G., Ammer, C., Ciach, M., Nagel, T. A., del Río, M., Paillet, Y., Munzi, S., Vandekerkhove, K., Bravo-Oviedo, A., Cutini, A., D'Andrea, E., De Smedt, P., Doerfler, I., Fotakis, D., Heilmann-Clausen, J., ... Burrascano, S. (2023). Words apart: Standardizing forestry terms and definitions across European biodiversity studies. *Forest Ecosystems*, 10, 100128.

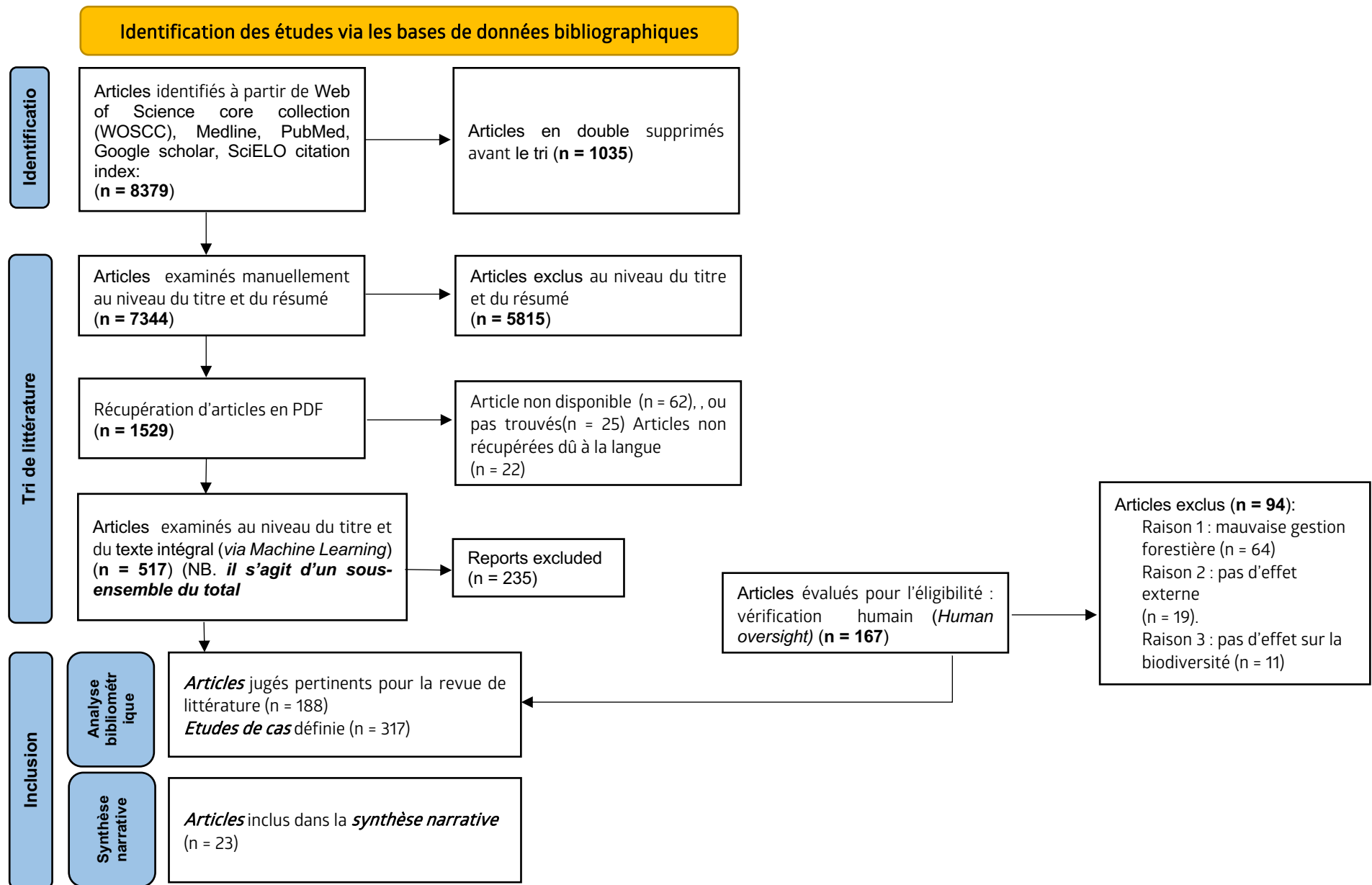


Figure. A1. PRISMA flow diagramme: Source: Page *et al.* 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ <https://doi.org/10.1136/bmj.n71> (Licensed under CC BY 4.0)

7.5 Références incluses pour la synthèse narrative

Table A5. Liste des références incluses dans la synthèse narrative (cf. partie 4)

	Citation	DOI
Réponses de la biodiversité : des espèces et des communautés	St-Laurent <i>et al.</i> (2023). Safeguarding eucalypt diversity through conservation-focused tree planting. <i>Journal of Applied Ecology</i>	https://doi.org/10.1111/1365-2664.14337
	Choi <i>et al.</i> (2022). Can a national afforestation plan achieve simultaneous goals of biodiversity and carbon enhancement? Exploring optimal decision making using multi-spatial modeling. <i>Biological Conservation</i>	https://doi.org/10.1016/j.bioc.2022.109474
	Fierro <i>et al.</i> (2017). How does the replacement of native forest by exotic forest plantations affect the diversity, abundance and trophic structure of saproxylic beetle assemblages? <i>Forest Ecology and Management</i>	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.026
	Rodríguez & Kouki (2015). Emulating natural disturbance in forest management enhances pollination services for dominant <i>Vaccinium</i> shrubs in boreal pine-dominated forests. <i>Forest Ecology and Management</i>	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.029
	Wong <i>et al.</i> (2024). Changes in tropical terrestrial vertebrate communities along two anthropogenic gradients : Forest degradation and accessibility. <i>Biotropica</i>	https://doi.org/10.1111/btp.13320
Effets sur les fonctions écologiques : sols, stockage et séquestration du carbone)	Vassallo <i>et al.</i> (2021). Biophysical Accounting of Forests' Value under Different Management Regimes : Conservation vs. Exploitation. <i>Sustainability</i>	https://doi.org/10.3390/su13094638
	Feldpausch <i>et al.</i> (2005). When big trees fall : Damage and carbon export by reduced impact logging in southern Amazonia. <i>Forest Ecology and Management</i> .	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.09.003
	Bischetti <i>et al.</i> (2016). The effect of gap openings on soil reinforcement in two conifer stands in northern Italy. <i>Forest Ecology and Management</i> .	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.014
	Kendrick <i>et al.</i> (2015). Changes in canopy structure and ant assemblages affect soil ecosystem variables as a foundation species declines. <i>Ecosphere</i>	https://doi.org/10.1890/ES14-00447
Effets en cascade : régulation hydrique et cycle de l'eau	Kojima <i>et al.</i> (2024). Development of a Model to Evaluate Water Conservation Function for Various Tree Species. <i>Water</i> ,	https://doi.org/10.3390/w16040588
	Huang <i>et al.</i> (2022). Selective removal of non-woody species released water limitation on vegetation community stagnated at early successional stages in a humid karst region. <i>Journal of Hydrology</i> .	https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128714

Effets sur les dimensions socio-économiques, santé et bien-être humain	Georgiev <i>et al.</i> (2021). Forest disturbance and salvage logging have neutral long-term effects on drinking water quality but alter biodiversity. <i>Forest Ecology and Management</i>	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119354
	Wang <i>et al.</i> (2023). Identification of potential forest thinning locations to mitigate water deficits in drylands. <i>Land Degradation & Development</i>	https://doi.org/10.1002/ldr.4997
	Ma <i>et al.</i> (2022). A nature-based solution in forest management to improve ecosystem services and mitigate their trade-offs. <i>Journal of Cleaner Production</i>	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131557
	Seidl <i>et al.</i> (2019). What drives the future supply of regulating ecosystem services in a mountain forest landscape? <i>Forest Ecology and Management</i>	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.047
	Schneider <i>et al.</i> (2020). Sustainable Development Under Competing Claims on Land : Three Pathways Between Land-Use Changes, Ecosystem Services and Human Well-Being. <i>The European Journal of Development Research</i>	https://doi.org/10.1057/s41287-020-00268-x
	Bousfield <i>et al.</i> (2020). Protecting environmental and socio-economic values of selectively logged tropical forests in the Anthropocene. In <i>Advances in Ecological Research</i> .	https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.01.006
	Krueger (2004). Effects of future crop tree flagging and skid trail planning on conventional diameter-limit logging in a Bolivian tropical forest. <i>Forest Ecology and Management</i>	https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.08.006
	Costa <i>et al.</i> (2021). Priority areas for restoring ecosystem services to enhance human well-being in a dry forest. <i>Restoration Ecology</i>	https://doi.org/10.1111/rec.13426
	Cerda <i>et al.</i> (2020). An Analysis of the Impact of Forest Policy on Rural Areas of Chile. <i>Forests</i>	https://doi.org/10.3390/f11101105
	Guégan <i>et al.</i> (2020). Forests and emerging infectious diseases: Unleashing the beast within. <i>Environmental Research Letters</i> .	https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8dd7
	Parkatti & Tahvonen (2020). Optimizing continuous cover and rotation forestry in mixed-species boreal forests. <i>Canadian Journal of Forest Research</i>	https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0056
	Huang <i>et al.</i> (2013). Toward full economic valuation of forest fuels-reduction treatments. <i>Journal of Environmental Management</i> ,	https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.052

7.6 Synthèse des impacts multidimensionnels

Tableau A6. Synthèse des impacts multidimensionnels des pratiques forestières

Article	Pays d'étude	Type de pratique et contexte	Impact négative	Conclusion principale	Méthodes de l'étude
1. Effets des pratiques de gestion sur la biodiversité					
Fierro <i>et al.</i> (2017)	Chile	Plantations exotiques (<i>Pinus radiata</i> , <i>Eucalyptus globulus</i>)	↓ Espèces saproxyliques	Les plantations exotiques réduisent fortement les communautés d'espèces saproxyliques	Etude de terrain : les auteurs ont évalué la diversité et la densité des coléoptères saproxyliques à l'échelle de l'habitat et du micro-habitat dans des forêts natives du Maulino, des plantations d'eucalyptus et de pin de Monterey, à partir d'un échantillonnage de 972 bois mort au sol et souches.
St-Laurent <i>et al.</i> (2023)	Australie	Plantations natives (<i>Angophora</i> , <i>Corymbia</i> and <i>Eucalyptus</i>)	↓ Diversité spécifique	Les plantations orientées carbone réduisent la diversité des eucalyptus et peuvent dégrader les écosystèmes locaux.	Scénario / modélisation : les auteurs ont compilé une base de données de plus de 80 000 observations couvrant 218 espèces issues de plantations environnementales en Australie afin d'évaluer leur représentation de la diversité des eucalyptus sous différents scénarios climatiques, puis l'ont comparée à des <i>scénarios de plantation</i> favorisant les espèces prioritaires pour leur conservation.
Choi <i>et al.</i> (2022)	La Corée du Sud	Scénarios d'optimisation de la gestion forestière	↓ Biodiversité	Les objectifs biodiversité vs carbone impliquent des compromis spatiaux non conciliables.	Scénario / modélisation : les auteurs ont élaboré différents <i>scénarios de boisement</i> à partir des plans nationaux de gestion forestière. Ils ont utilisé des modèles de dissimilarité généralisée (GDM) et le modèle forestier global (G4M) afin d'identifier des scénarios maximisant respectivement la biodiversité et le stockage de carbone, puis ont proposé un scénario intermédiaire conciliant ces deux objectifs à l'aide d'un algorithme d'optimisation spatiale. La spatialisation des scénarios d'afforestation a été déterminée en accord avec le plan national forêt et sa cible de 5800 hectares plantés à partir de 2022.

Rodríguez & Kouki (2015)	Finland	Sylviculture de rétention (EN : <i>retention forestry</i>)	↓ Abondance de bourdons / services écosystémiques	Les pratiques de type la sylviculture de rétention ont un effet sur la production de baies dû à une baisse de bourdons.	Etude de terrain : les auteurs ont évalué l'effet de la sylviculture de rétention (<i>retention forestry</i>) sur les services écosystémiques fournis par les abeilles (<i>Hymenoptera: Anthophila</i>) dans les forêts boréales dominées par le pin sylvestre. Le recouvrement des arbustes, la floraison, la production de baies et le taux de fructification ont été mesurés chez La Myrtille (<i>Vaccinium myrtillus</i>) et L'airelle rouge (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>). Les abeilles ont été échantillonnées à l'aide de pièges sur 24 sites d'étude, 13 ans après une expérience à grande échelle dans laquelle différents niveaux de sylviculture de rétention (0, 10 et 50 m³/ha, ainsi que des forêts non exploitées) avaient été appliqués selon un plan expérimental.
Wong <i>et al.</i> (2024)	Malaysia	Exploitation du bois et conversion en plantations industrielles.	↓ Communauté d'espèces	L'exploitation forestière et la conversion en plantations industrielles entraîne une baisse de la diversité et une modification de la composition des communautés animales	Etude de terrain : les auteurs ont réalisé un suivi par pièges photographiques dans trois forêts au centre du Sabah (Bornéo malaisien), soumises à différents historiques et intensités d'exploitation forestière. Ils ont analysé les données d'une communauté de 32 espèces à l'aide d'un modèle bayésien afin d'évaluer les effets de la dégradation forestière liée à l'exploitation du bois et à la conversion en plantations industrielles sur l'occurrence, la diversité et la composition des communautés.
2. Effets sur les fonctions écologiques (carbone, sols, stabilité)					
Vassallo <i>et al.</i> (2021)	Italie	Coupe sélective	↓ Biomasse / flux d'énergie	Diminution mesurable de l'énergie et de la biomasse même en gestion dite durable.	Etude de terrain : Les auteurs ont comparé trois forêts de hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>) soumises à des niveaux de gestion (semi-naturelle, gestion durable de production, et exploitation sans gestion) afin d'évaluer les effets de l'intensification des usages forestiers sur le capital naturel et les fonctions écosystémiques. Ils montrent que l'augmentation de la pression anthropique entraîne une diminution des flux biophysiques associés à la formation et au maintien de la biomasse, traduisant une réduction du capital naturel et de la capacité des forêts à fournir des services écosystémiques.
Feldpausch <i>et al.</i> (2005)	Brésil	Exploitation à impact réduit	↓ Stock de carbone	Les exploitations à impact réduit causent malgré tous des pertes significatives de carbone.	Etude de terrain : les auteurs ont réalisé un inventaire exhaustif des routes forestières et des parcs à grumes (EN : log decks) dans deux zones de gestion. Ils ont examiné les exportations de carbone sous forme de <i>gros débris ligneux</i> (EN : <i>coarse woody</i>

					<i>debris</i> – CWD) produits par les dommages forestiers au cours de toutes les phases de la première et de la deuxième année d'une exploitation forestière à impact réduit certifiée (EN : <i>Reduced Impact Logging</i>) dans le sud de l'Amazonie. Ils ont calculé la biomasse sèche des arbres et des palmiers individuels présents dans les transects, ainsi que celle des arbres récoltés ou détruits (y compris les troncs sectionnés ou écrasés) liés à l'abattage des arbres, au débardage, et à la construction des routes forestières et des parcs à grumes.
Bischetti <i>et al.</i> (2016)	Italie	Sylviculture par trouées (EN: <i>gap-oriented forestry</i>)	↓ Stabilité des sols	La sylviculture par trouées réduit la stabilité des sols et augmente les risques d'érosion.	Étude de terrain : la création de trouées a été introduite comme système de gestion forestière en remplacement de la coupe jardinatoire pied à pied. Sur chaque site, deux peuplements ont été suivis pendant cinq ans : une zone avec trouée et une zone adjacente de peuplement non perturbé (témoin). Les sites étaient situés dans les communes de Cusio et d'Averara (vallée de Brembana, Alpes centrales, nord de l'Italie). La densité racinaire a été analysée en termes de nombre de racines par classe de diamètre, à l'aide de la méthode des parois de tranchée (EN : <i>trench wall method</i>) combinée à une analyse d'images. Le nombre de racines par classe de diamètre a été déterminé par tranches de profondeur de 0,10 m, et les classes de diamètre considérées étaient : 0–1 mm, 2–5 mm, 5–10 mm et > 10 mm.
Kendrick <i>et al.</i> (2015)	États unis	Coupes sanitaires (EN: <i>Salvage logging</i>)	↓ Communautés de fourmis / la disponibilité en azote	Les services de régulation des sols (disponibilité en azote) sont affectés par les coupes sanitaires	Étude de terrain : l'étude repose sur un dispositif BACI (Before–After–Control–Impact) structuré en trois phases temporelles afin d'évaluer les effets de la modification de la canopée et d'une invasion biologique. Une première phase de référence (2003–2005) a permis de collecter des données avant toute perturbation. En 2005, des traitements expérimentaux ont été appliqués dans certaines parcelles, consistant en des coupes sanitaires et des anhélation d'arbres, tandis que des parcelles témoins non perturbées ont été conservées afin de mesurer l'effet de ces interventions de gestion. À partir de 2010, après l'établissement d'un insecte invasif ravageur, la seconde phase de suivi a permis d'évaluer l'impact de cette infestation naturelle, en comparant aux peuplements affectés par coupes sanitaires à ceux touchés par le ravageur, ainsi qu'aux parcelles témoins.

3. Effets en cascade : régulation hydrique et cycle de l'eau

Kojima <i>et al.</i> (2024)	Japon	Coupe rase	↓ Réduction de l'approvisionnement en eau	La coupe rase réduit fortement et durablement la fonction de conservation de l'eau.	Scénario / modélisation : Pour évaluer les services écosystémiques affectés par la gestion forestière : trois modèles de services écosystémiques, à savoir l'approvisionnement en eau, l'approvisionnement en bois et le puits de carbone, ont été développés à partir de nombreuses données d'observation issues de la littérature. Le modèle forestier calcule les changements des conditions forestières, tels que le volume de bois sur pied et l'indice foliaire (LAI), en fonction de la croissance des forêts, des éclaircies et des reboisements.
Huang <i>et al.</i> (2022)	Chine	Éclaircie et coupe d'amélioration.	↓ Elimination des espèces non ligneuses ↑ Augmentation de l'humidité du sol	Les interventions affectent la disponibilité en eau et les dynamiques hydrologiques locales.	Étude de terrain : l'étude a été menée dans un bassin versant d'une superficie de 146,1 ha situé au sein de la station d'observation et de recherche de Huanjiang pour les écosystèmes karstiques. Ce bassin versant karstique repose sur un substrat rocheux principalement constitué de dolomie, et son altitude varie de 272,0 à 647,2 m au-dessus du niveau de la mer. Les versants sont caractérisés par des pentes fortes (62 % des surfaces présentent une pente supérieure à 25°) et des habitats fragmentés.
Georgiev <i>et al.</i> (2021)	Germany	Coupes sanitaires (EN : Salvage logging)	↓ La qualité de l'eau potable (mais inférieur au seuil fixé par WHO)	Effet neutre sur la qualité de l'eau potable à long terme malgré les perturbations.	Synthèse des données : en utilisant les données issues du suivi des eaux de cours d'eau entre 1985 et 2018, ainsi que des données à moyen terme sur la biodiversité de douze groupes d'espèces, les auteurs ont quantifié les effets combinés des perturbations naturelles et de l'exploitation des bois de type coupe sanitaire (EN : <i>salvage logging</i>). Ils ont utilisé des modèles additifs généralisés (EN : <i>generalized additive models</i> , GAM) pour tester les effets cumulées : perturbation et exploitation sur les concentrations maximales annuelles en nitrates et en carbone organique dissous (COD). Les auteurs ont également utilisé des modèles mixtes généralisés (EN : <i>generalized mixed-effects models</i>) pour tester l'effet du mode de gestion (zones perturbées non exploitées, zones perturbées exploitées, et forêts non perturbées intactes) sur le nombre d'espèces des différents taxons étudiés.
Wang <i>et al.</i> (2024)	Chine	Éclaircie	↓ Intensité de l'évapotranspiration (ET) à l'échelle régionale	La réduction de la densité forestière par éclaircie diminue l'évapotranspiration à l'échelle régionale. Cette approche permet d'identifier les zones où	Synthèse des données : la province du Shanxi est située dans la partie orientale du plateau de Löss. Les données ont été obtenues à partir de l'Annuaire statistique (EN : <i>year book</i>) de la province du Shanxi, qui comprenait des informations sur l'utilisation des terres, les activités humaines, la topographie, la

				des éclaircies pourraient être réalisées afin de limiter les déficits en eau dans les régions arides.	texture des sols et les données climatiques. Le modèle (<i>LULC simulation model</i>) a été utilisé pour explorer les relations entre les changements d'usage des terres et les facteurs explicatifs. Les auteurs ont calibré les paramètres d'entrée du modèle en simulant l'usage des terres sur la période 2010–2020, puis en évaluant la précision de la simulation par comparaison entre l'usage des terres simulé et l'usage réel en 2020. Cette évaluation repose sur le coefficient de Kappa ainsi que sur la <i>Figure of Merit</i> (FOM).
Ma <i>et al.</i> (2022)	Chine	Plantations de bambou	↓ Biodiversité ↑ Rendement en eau (ou disponibilité en eau, selon le contexte) ↑ Fourniture de produits (revenus économiques tirés par les agriculteurs des cultures et des forêts de bambou) ↓ Atténuation des inondations (régulation des crues)	L'expansion des forêts de bambou entraîne une augmentation de la fourniture de produits (+13,71 %), mais une diminution de l'atténuation des inondations (-2,23 %), du stockage du carbone (-15,69 %), de la conservation des sols (-3,63 %), de la rétention de l'azote (-30,14 %), de la rétention du phosphore (-9,16 %) et de la qualité de l'habitat (-11,84 %).	Scénario / modélisation : différents scénarios d'occupation et d'utilisation des terres (<i>Land Use/Land Cover</i> ; LULC) ainsi que des analyses des compromis entre services écosystémiques (SE) ont été modélisés afin d'évaluer les effets de l'expansion des forêts de bambous sur les SE entre 2000 et 2020 dans la province du Zhejiang, en Chine. Les données utilisées comprenaient des images Landsat 5 TM (13 juillet 2000) et Landsat 8 OLI (3 mai 2020), obtenues à partir de la base de données <i>Geospatial Data Cloud</i> . Les images ont fait l'objet d'une calibration radiométrique et d'une correction atmosphérique à l'aide du logiciel ENVI 5.3. Les données d'occupation et d'utilisation des terres (LULC) ont ensuite été produites par classification selon la méthode du maximum de vraisemblance, distinguant les catégories suivantes : terres agricoles, forêts, prairies, zones bâties, plans d'eau et forêts de bambous. Le modèle InVEST (EN : <i>Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs</i>) a été utilisé pour évaluer les services écosystémiques.
Seidl <i>et al.</i> (2019)	Austria	Système de régénération par trouées en bandes de petites ouvertures irrégulières (EN : <i>Slit cut system</i>)	↓ Climate regulation (total ecosystem carbon, live tree carbon, carbon in soil and detrital matter)	Réduction de la capacité future des écosystèmes à fournir des services de régulation du climat	Scénario / modélisation : les auteurs ont étudié quantitativement le développement futur des forêts selon différents scénarios climatiques, de gestion, et de perturbations, ainsi que les changements qui en résultent dans la fourniture des services écosystémiques de régulation, à l'aide du modèle iLand (EN : <i>individual-based forest landscape and disturbance model</i>). Ce modèle iLand simule un cycle du carbone en prenant en compte le carbone contenu dans la biomasse vivante, les matières organiques mortes et la matière organique du sol. Le cycle de l'eau intègre l'interception des précipitations par la canopée, le stockage et la fonte de la neige, le stockage de l'eau dans le sol, l'évaporation à partir du sol et des feuilles, la

transpiration des arbres (calculée à partir de l'équation de Penman-Monteith), ainsi que le ruissellement.

4. Dimensions socio-économiques, santé et bien-être humain

Parkatti & Tahvonen (2020)	Finland	Forêts à couvert continu, et coupe rase	↓ Diversité spécifique	Les forêts à couvert continu maintiennent mieux la diversité spécifique que les systèmes à coupe rase.	Synthèse des données : les auteurs ont utilisé les modèles de croissance empiriques spécifiques aux espèces estimés par Pukkala et al. (2011, 2013) pour l'épicéa commun (<i>Picea abies</i>), le pin sylvestre (<i>Pinus sylvestris</i>), le bouleau verruqueux (<i>Betula pendula</i>) et le peuplier tremble (<i>Populus tremula</i>). Ces modèles de croissance ont été utilisés pour étudier des peuplements mélangés, et à comparer la futaie irrégulière à couvert continu (EN : <i>Continuous Cover Forestry</i> , CCF) à celle de la sylviculture par rotation (EN : <i>Rotation Forestry</i>). Ils analysent les résultats économiques, y compris les phénomènes de surproduction (EN : <i>over-yielding</i>), en appliquant différents modèles de croissance pour les peuplements mélangés.
Schneider <i>et al.</i> (2020)	Myanmar	Pratiques forestières	↓ Bien-être humain	Diminution du bien-être liée aux plantations forestières (insécurité alimentaire, perte de ressources).	Étude de terrain : Les auteurs ont étudié les interactions influençant les changements d'occupation des sols ainsi que leurs impacts sur la fourniture de services écosystémiques et le bien-être humain. Ils utilisent une approche transdisciplinaire combinant méthodes mixtes et le cadre analytique des systèmes socio-écologiques. Le bien-être humain est appréhendé à travers l'approche par Nussbaum, 2011, qui couvre les dimensions : l'espérance de vie, la santé physique, l'intégrité corporelle (ex. la liberté, et la sécurité), les sens, l'imagination et la pensée (ex. l'éducation), les émotions (ex. les relations familiales), la raison pratique (ex. la liberté de conscience), l'affiliation (ex. la non-discrimination, la liberté d'expression), les relations avec les autres espèces, le jeu et le contrôle sur son environnement (ex. les droits de propriété, la participation à la prise de décision). La recherche (l'étude de cas) a été menée dans le nord de la région de Tanintharyi, dans le sud du Myanmar, au sein de villages situés à proximité de la réserve naturelle de Tanintharyi (TNR), de la future zone économique spéciale (SEZ) de Dawei, des gazoducs de Yadana et Yetagun, ainsi que des concessions de plantations de palmiers à huile.
Krueger (2004)	Bolivie	Marquage des arbres à exploiter	↑ Efficacité opérationnelle	Mesures simples de planification réduisent les coûts	Étude de terrain : cette étude a été menée dans la réserve forestière de Guarayos, Santa Cruz, en Bolivie. Des comparaisons

		Planification des pistes de débardage		écologiques à faible coût économique.	entre les opérations d'exploitation forestière conventionnelles et deux systèmes alternatifs de récolte du bois ont été réalisées dans des parcelles adjacentes. L'étude a évalué les coûts et les bénéfices potentiels de l'intégration de deux pratiques de gestion : (i) le marquage préalable des arbres d'avenir (EN : <i>Future Crop Trees</i> , FCT) et (ii) l'amélioration de la planification des pistes de débardage, en complément d'une exploitation conventionnelle planifiée fondée sur un diamètre minimal d'exploitabilité dans une forêt tropicale de basse altitude du département de Santa Cruz. L'étude comprenait également une évaluation générale des dommages causés aux arbres d'avenir (EN : <i>future crop trees</i>) et des pertes de bois associées aux opérations d'abattage standard.
Costa <i>et al.</i> (2021)	Brésil	Production de bois d'œuvre	↓ Services écosystémiques ↓ Bien-être humain	La production de bois peut engendrer des inégalités dans l'accès aux services écosystémiques ; les communautés les plus pauvres et les plus dépendantes des ressources forestières sont généralement les plus exposées aux conséquences de la perte de biodiversité.	Scénario / modélisation : L'étude a été menée dans la Caatinga, la forêt tropicale sèche saisonnière (EN : <i>seasonally Dry Tropical Forest</i> , SDTF) du Brésil. Les auteurs ont retenu trois principaux usages des ressources naturelles par les populations locales : (i) l'approvisionnement en ressources alimentaires et médicinales, (ii) la production de bois et (iii) la pollinisation des cultures. Pour identifier les zones prioritaires de restauration des services écosystémiques (SE), ils ont utilisé un modèle : <i>Zonation 4.0</i> , un outil de planification spatiale et de priorisation de la conservation à grande échelle. La demande en services écosystémiques a quant à elle été évaluée à l'aide de cartes représentant la densité de population, la localisation des municipalités rurales, la productivité forestière et la répartition des cultures dépendantes de la pollinisation.
Cerda <i>et al.</i> (2020)	Chile	Plantations exotiques (<i>Pinus radiata</i> , <i>Eucalyptus globulus</i>)	↓ Habitats forestiers natifs ↓ Biodiversité ↓ Services écosystémiques	La conversion des paysages forestiers en monocultures d'espèces exotiques est associée à une détérioration des conditions socio-économiques des populations rurales, ainsi qu'à une augmentation des conflits sociaux	Scénario / modélisation : Les auteurs ont réalisé une <i>analyse causale</i> à l'aide de modèles de régression linéaire afin d'évaluer les effets de la politique forestière sur les changements observés dans les territoires étudiés. Trois modèles ont été développés : Un modèle à l'échelle des régions de Ñuble et du Biobío , utilisant la variation de la population totale comme indicateur de changement démographique. Deux autres modèles appliqués à la région Cordillère côtière , zone ayant connu la plus forte expansion des plantations forestières, utilisant comme variables dépendantes la variation de la population et la variation du taux de pauvreté (indicateur de bien-être des communautés). Les variables explicatives correspondaient aux indicateurs

					présentant des corrélations significatives lors d'une l'analyse préalable. Cette approche a permis d'identifier les principaux facteurs expliquant les évolutions démographiques et socio-économiques observées, et notamment le rôle potentiel des activités productives liées à la politique forestière. Une fois la relation entre les indicateurs analysée, une analyse causale a été réalisée afin d'expliquer la relation entre la politique forestière et les principaux changements du territoire résultant de sa mise en œuvre. Pour ce faire, un modèle de régression linéaire multiple a été utilisé. Plus précisément, trois modèles de régression ont été élaborés entre les indicateurs présentant des corrélations significatives lors de la phase précédente.
Guégan <i>et al.</i> (2020)	Mondial	Déforestation et coupes sélectives	↓ Habitats forestiers	L'émergence et la propagation de maladies infectieuses chez l'humain est favorisé par la déforestation.	Revue de littérature : les auteurs ont effectué des recherches de littérature dans les bases de données : Web of Science, InCites, JCR, ESI, EndNote, Publons, Medline et Google Scholar, en utilisant une combinaison de termes de recherche liés aux forêts (forêts non perturbées, forêts primaires, forêts perturbées), à la déforestation et aux maladies infectieuses émergentes. La revue se concentre sur les maladies infectieuses humaines émergentes, les auteurs ont donc également exclu les articles portant sur les infections émergentes chez la faune sauvage en lien avec les forêts.
Bousfield <i>et al.</i> (2020)	Mondial	Production de bois d'œuvre, coupes sélectives	↓ Accès des populations locales aux ressources ↓ Moyens de subsistance	Les effets sociaux de la gestion communautaire varient fortement selon les contextes institutionnels.	Livre : méthodologie, non rapportée. Résultats seulement.
Huang <i>et al.</i> (2013)	Etats unis	Éclaircie	↑ Les revenus du carbone	L'évaluation économique montre que le bénéfice net le plus élevé, soit 5 029,74 \$/ha, est obtenu avec le traitement Rx20 (éclaircissage suivi de brûlages dirigés tous les vingt ans).	Scénario / modélisation : les auteurs ont calculé la valeur économique du stockage du carbone et des émissions de carbone sur un siècle, générées par deux traitements de réduction des combustibles consistant en un éclaircissage suivi de brûlages dirigés tous les dix ans (scénario : Rx10) ou tous les vingt ans (scénario : Rx20), ainsi que pour une absence de traitement suivie d'un incendie de forte intensité une fois au cours des 50 premières années (scénario référence : HF50) ou une fois au cours des 100 premières années (scénario référence : HF100). Les estimations prennent en compte deux utilisations du bois récolté

: l'utilisation actuelle pour la fabrication de palettes, et une utilisation multi-produits incluant papier, palettes et matériaux de construction. Ils ont calculé les revenus potentiels du carbone pour les scénarios de gestion Rx10 et Rx20 en utilisant comme scénarios de référence HF100 et HF50.
