



TRAJECTOIRES SOUTENABLES ET DYNAMIQUE DES INTERACTIONS ENTRE CAPITAL ECONOMIQUE ET CAPITAL NATUREL AU GABON : UNE MODELISATION PROSPECTIVE A L'HORIZON 2050

¹Liliane RIGHOU & ²Emmanuel MOUSSONE

^{1&2}National Institute of Management Sciences (INSG), Gabon

Email correspondant : lrighou@gmail.com

Reçu le 07 Juillet 2026 ; Accepté le 26 Août 2026 ; Publié le 01 Septembre 2026

Citer cet article : Liliane R., Emmanuel M., (2026). Trajectoires soutenables et dynamique des interactions entre capital économique et capital naturel au Gabon : une modélisation prospective à l'horizon 2050. In Brainae Journal of Business, Science and Technology (Vol. 10, Issue 02, pp.44-52).

Droits d'auteur : BPG, 2026 (Tous droits réservés). Cet article est en libre accès, diffusé sous la licence Creative Commons Attribution, qui autorise une utilisation, une distribution et une reproduction illimitées sur tout support, à condition de citer correctement l'œuvre originale.

DOI : <http://doi.org/10.5281/zenodo.22236015>

Résumé

La recherche de trajectoires de développement soutenable suppose de dépasser les approches statiques séparant performances économiques et environnementales. Cet article propose un modèle dynamique prospectif analysant les interactions entre capital économique, capital naturel forestier, production, émissions de CO₂ et pression environnementale cumulative. L'objectif est d'examiner les conditions permettant de concilier maintien des capacités productives, préservation du capital naturel et réduction des pressions environnementales. Le modèle distingue les flux annuels d'émissions des pressions accumulées et simule, jusqu'en 2050, trois trajectoires : une trajectoire d'inertie, une transition progressive et une transition renforcée. Les résultats montrent que les scénarios de transition améliorent simultanément la préservation du capital forestier et la réduction des émissions, la transition renforcée produisant la trajectoire la plus favorable. Toutefois, la diminution des émissions annuelles ne conduit pas nécessairement à une réduction immédiate de la pression environnementale cumulative, en raison de son inertie dynamique. L'analyse de sensibilité confirme enfin le rôle déterminant de la dynamique forestière, de la vitesse de décarbonation, de la dissipation environnementale et de la dépréciation du capital. La soutenabilité apparaît ainsi comme le résultat d'une interaction dynamique entre capital économique, capital naturel, décarbonation et capacité de résorption des pressions environnementales.

Mots-clés : Trajectoires soutenables ; Modélisation dynamique ; Capital naturel ; Décarbonation ; Analyse prospective ; Pression environnementale cumulative.

1. Introduction

La recherche d'un développement capable de concilier croissance économique et préservation de l'environnement constitue l'un des principaux défis contemporains. Les crises climatiques, la dégradation des écosystèmes et l'intensification de l'exploitation des ressources naturelles rappellent que les performances économiques ne peuvent être analysées indépendamment de leurs conséquences environnementales (IPCC, 2023 ; UNEP International Resource Panel, 2024). La question centrale n'est donc plus seulement celle de la compatibilité entre croissance et environnement, mais celle des conditions permettant d'orienter les trajectoires de développement vers une plus grande soutenabilité.

Cette interrogation invite à dépasser les approches statiques fondées sur l'observation séparée d'indicateurs économiques et environnementaux. La soutenabilité relève également d'une dynamique : production, accumulation du capital, évolution des ressources naturelles, émissions et pressions environnementales interagissent dans le temps selon des mécanismes de rétroaction et d'inertie. Les approches de dynamique des systèmes offrent, à cet égard, un cadre pertinent pour analyser les interactions complexes entre systèmes économiques et environnementaux et explorer différents futurs possibles (Randers, 2000 ; Hjorth & Bagheri, 2006 ; Moffatt & Hanley, 2001). Plus récemment, les travaux consacrés à la modélisation intégrée des contraintes socio-économiques et biophysiques soulignent également la nécessité de dépasser les représentations sectorielles ou statiques du développement durable (Capellán-Pérez et al., 2020).

Cette problématique revêt une importance particulière dans le cas du Gabon, dont les perspectives de développement reposent sur l'articulation entre l'exploitation des ressources, la diversification de l'économie et la préservation d'un patrimoine naturel exceptionnel. Les analyses récentes consacrées à l'économie gabonaise soulignent précisément l'enjeu d'une meilleure articulation entre création de richesse, préservation du capital naturel et gestion durable des ressources forestières (World Bank, 2024, 2025). Le présent article propose un modèle dynamique prospectif analysant les interactions entre capital économique, capital naturel forestier, production, émissions de CO₂ et pression environnementale cumulative. L'objectif n'est pas de produire une prévision déterministe, mais d'examiner les conditions susceptibles de conduire à des trajectoires plus ou moins soutenables à l'horizon 2050. Le modèle distingue notamment les flux annuels d'émissions des pressions environnementales accumulées, afin de prendre en compte les phénomènes d'inertie. Trois scénarios sont ensuite simulés : une trajectoire d'inertie, une transition progressive et une transition renforcée. Une analyse de sensibilité permet enfin d'évaluer le rôle des principaux paramètres structurels, notamment la dynamique forestière et la vitesse de décarbonation.

L'article contribue ainsi à l'analyse des trajectoires soutenables en proposant une représentation intégrée des interactions entre capital économique, capital naturel et pressions environnementales. La soutenabilité y est envisagée non comme un état fixe,

mais comme le résultat d'une transformation dynamique combinant maintien des capacités productives, préservation du capital naturel, décarbonation et réduction progressive des pressions accumulées.

La suite de l'article présente successivement le cadre conceptuel, le modèle et les données mobilisées, les scénarios prospectifs, les résultats des simulations et de l'analyse de sensibilité, avant d'en discuter les implications et les limites.

2. Cadre conceptuel et revue ciblée de la littérature

L'analyse des trajectoires soutenables repose sur une conception dynamique des relations entre économie et environnement. Cette section établit les principaux fondements conceptuels du modèle proposé. Elle examine successivement la notion de trajectoire soutenable, l'interdépendance entre capital économique et capital naturel, puis l'importance de la distinction entre stocks, flux et phénomènes d'inertie dans l'analyse des pressions environnementales.

2.1. De la soutenabilité aux trajectoires soutenables

La notion de développement durable a progressivement conduit à remettre en question une conception du développement fondée exclusivement sur la croissance des flux économiques. Dans cette perspective, la question de la soutenabilité concerne également la capacité d'une société à préserver, dans le temps, les ressources et les actifs nécessaires au maintien de ses possibilités de développement.

Une partie importante de la littérature économique a abordé cette question à travers la notion de capital. Pearce et Atkinson (1993) proposent notamment une approche de la soutenabilité fondée sur le maintien du stock global de capital. Cette conception, généralement associée à la « soutenabilité faible », suppose qu'une partie de la perte de capital naturel puisse être compensée par l'accumulation d'autres formes de capital.

Cette hypothèse a toutefois été largement discutée. Les approches de la « soutenabilité forte » soulignent que certains éléments du capital naturel remplissent des fonctions critiques et ne peuvent être intégralement remplacés par du capital produit ou technologique (Ekins et *al.*, 2003 ; Neumayer, 2013). La question ne consiste donc pas uniquement à maintenir un volume global de richesse, mais également à préserver certains stocks naturels dont la dégradation peut compromettre durablement les capacités futures de développement.

Dans cette perspective, la soutenabilité ne peut être réduite à un état observé à un moment donné. Elle renvoie à une trajectoire, c'est-à-dire à l'évolution dans le temps des principales composantes économiques et environnementales d'un système. Une trajectoire peut ainsi apparaître favorable à court terme tout en reposant sur une dégradation progressive du capital naturel susceptible de compromettre ses performances futures. L'analyse doit donc porter simultanément sur les niveaux atteints et sur les mécanismes qui déterminent leur évolution. Une telle perspective suppose de prendre en compte les relations de rétroaction, les phénomènes d'accumulation et les décalages temporels qui caractérisent les systèmes complexes, éléments centraux de l'approche de dynamique des systèmes (Sterman, 2000).

Cette approche dynamique constitue le point de départ du présent travail. Elle rejoint les travaux qui envisagent le développement durable comme le résultat de processus évolutifs et d'interactions complexes entre différentes composantes économiques, sociales et environnementales, plutôt que comme un état d'équilibre statique (Feder et *al.*, 2024). Une trajectoire soutenable est ainsi comprise comme une évolution dans laquelle les transformations économiques et environnementales sont analysées conjointement, afin d'identifier les conditions permettant de préserver les capacités productives tout en limitant la dégradation du capital naturel et les pressions environnementales.

2.2. Capital économique et capital naturel : une interdépendance dynamique

Le modèle proposé repose sur l'idée que capital économique et capital naturel ne constituent pas deux sphères indépendantes. Les capacités productives d'une économie dépendent des infrastructures, des équipements et des investissements accumulés, mais également des ressources, des fonctions et des services fournis par les systèmes naturels.

La littérature sur le capital naturel définit généralement celui-ci comme un ensemble de stocks naturels susceptibles de générer, directement ou indirectement, des flux de biens et de services utiles aux sociétés humaines (Ekins et *al.*, 2003 ; Mace et *al.*, 2015). Dans une perspective de stocks et de flux, le capital naturel peut ainsi être considéré comme la base écologique à partir de laquelle sont produits différents services écosystémiques.

Cette représentation conduit à souligner la complémentarité potentielle entre les différentes formes de capital. Si certaines formes de capital produit peuvent se substituer partiellement à certaines ressources naturelles, d'autres fonctions écologiques restent difficilement substituables. Le capital naturel ne doit donc pas être considéré comme une simple variable extérieure à la production, mais comme une composante susceptible de conditionner la résilience et les possibilités de développement à long terme.

Dans le présent article, le capital naturel est représenté principalement par le capital forestier. Ce choix ne prétend pas réduire l'ensemble de la nature à la seule forêt. Il correspond à une simplification analytique permettant d'intégrer explicitement une dynamique écologique dans le modèle. La forêt est ainsi considérée comme un stock susceptible d'évoluer sous l'effet simultané de mécanismes de régénération, de dégradation et de restauration.

Cette formalisation permet de représenter une interdépendance dynamique fondamentale : les décisions économiques influencent l'état du capital naturel, tandis que l'évolution de ce dernier peut, en retour, affecter les capacités futures du système. Cette logique de rétroaction justifie le recours à une modélisation dynamique plutôt qu'à une analyse reposant uniquement sur des relations statiques entre variables économiques et environnementales.

2.3. Flux, stocks et inertie environnementale

La distinction entre stocks et flux constitue un autre fondement essentiel de l'analyse. Dans une approche dynamique, un stock représente une quantité accumulée à un moment donné, tandis qu'un flux correspond à une variation ou à une quantité mesurée au cours d'une période. Cette distinction est particulièrement importante dans l'analyse du capital naturel et des pressions environnementales.

Les travaux consacrés aux systèmes de capital naturel soulignent que les stocks écologiques constituent la base à partir de laquelle peuvent être générés différents flux de services et de ressources (Jones et *al.*, 2016). La gestion soutenable suppose donc de ne pas confondre l'utilisation d'un flux avec la préservation du stock qui permet sa production.

Cette distinction s'applique également aux pressions environnementales. Les émissions annuelles constituent des flux, alors que certaines de leurs conséquences peuvent s'accumuler dans le temps. Une diminution du flux d'émissions ne signifie donc pas nécessairement une diminution immédiate du niveau de pression déjà accumulé. L'évolution de ce stock dépend simultanément des nouveaux flux qui l'alimentent et des mécanismes susceptibles de contribuer à sa dissipation ou à sa résorption.

Les modèles dynamiques permettent précisément de représenter ce type de mécanismes d'accumulation et d'inertie. Dans une perspective de gestion des systèmes humains et naturels, l'étude des stocks est essentielle pour comprendre les conséquences à long terme des flux et des décisions présentes (Lauinger et *al.*, 2021). Cette idée justifie, dans notre modèle, l'introduction d'une variable distincte de pression environnementale cumulative.

L'intérêt de cette distinction est double. D'une part, elle évite d'assimiler automatiquement une amélioration annuelle des émissions à une amélioration immédiate de la situation environnementale globale. D'autre part, elle permet d'analyser les effets différés des politiques de transition et d'examiner la vitesse à laquelle une modification des flux peut se traduire par une transformation effective de la trajectoire du système.

Ainsi, le cadre conceptuel retenu conduit à considérer la soutenabilité comme une propriété dynamique résultant des interactions entre plusieurs stocks et flux. Le capital économique et le capital naturel évoluent dans le temps, tandis que l'activité économique génère des flux de production et d'émissions susceptibles d'alimenter des pressions environnementales persistantes. C'est à partir de cette architecture conceptuelle que la section suivante construit le modèle dynamique et formalise les relations entre ces différentes composantes.

3. Méthodologie et construction du modèle dynamique

Cette section présente l'architecture méthodologique retenue pour analyser les trajectoires soutenables à l'horizon 2050. L'approche repose sur une modélisation dynamique par stocks et flux, permettant de représenter les interactions et rétroactions entre capital économique, capital naturel, production, émissions et pression environnementale. L'objectif n'est pas de produire une prévision déterministe, mais de simuler des trajectoires conditionnelles dépendant d'hypothèses explicitement formulées, conformément à la logique des approches de dynamique des systèmes et de scénarisation prospective (Randers, 2000).

3.1. Architecture générale du modèle

Le modèle repose sur l'interaction de cinq composantes principales :

- le stock de capital économique à la période t , noté K_t ;
- le stock de capital naturel forestier, noté F_t ;
- la production, notée Y_t ;
- les émissions annuelles de CO_2 , notées E_t ;
- la pression environnementale cumulative, notée P_t .

L'architecture générale peut être représentée de la manière suivante :

$$(K_t, F_t) \rightarrow Y_t \rightarrow E_t \rightarrow P_t \quad (1)$$

Cette représentation linéaire simplifiée ne doit cependant pas masquer le caractère dynamique du système. Les deux formes de capital évoluent au cours du temps et influencent les conditions de production futures. Les émissions dépendent simultanément du niveau d'activité économique et de l'intensité carbone, tandis que la pression environnementale résulte d'un processus d'accumulation et de dissipation.

Le modèle adopte ainsi une logique de stocks et flux, caractéristique des approches de dynamique des systèmes : les stocks représentent des variables accumulées dont l'évolution dépend des flux entrants et sortants. Cette représentation permet également de prendre en compte les phénomènes d'accumulation, de rétroaction et d'inertie temporelle qui structurent l'évolution des systèmes complexes (Sternman, 2000). Elle est particulièrement adaptée à l'étude des relations entre économie, environnement et ressources naturelles sur le long terme.

3.2. Dynamique du capital économique et de la production

Le capital économique représente l'ensemble des actifs productifs mobilisés dans l'activité économique. Son évolution dépend, d'une part, de l'accumulation résultant de l'investissement et, d'autre part, de la dépréciation des actifs existants.

Sa dynamique est représentée par :

$$K_{t+1} = (1 - \delta_K)K_t + sY_t \quad (2)$$

Où :

- δ_K représente le taux de dépréciation du capital ;
- s représente la part de la production consacrée à l'investissement.

Cette formulation traduit une relation fondamentale : le système économique doit générer suffisamment d'investissement pour maintenir et renouveler ses capacités productives. Lorsque l'investissement compense ou dépasse la dépréciation, le stock de capital augmente ; dans le cas contraire, les capacités productives se détériorent progressivement.

La production est déterminée conjointement par le capital économique et le capital naturel forestier :

$$Y_t = AK_t^{0,30} \left(\frac{F_t}{F_{2024}} \right)^{0,70} \quad (3)$$

Où A représente un paramètre d'échelle et F_{2024} le niveau initial du capital forestier.

Cette formulation constitue une hypothèse de modélisation et non l'estimation économétrique d'une fonction de production. Elle vise à représenter explicitement l'interdépendance entre les capacités économiques et l'état du capital naturel. Le poids attribué au capital forestier devra donc être interprété avec prudence ; c'est précisément pourquoi la robustesse des résultats sera examinée à travers l'analyse de sensibilité.

3.3. Dynamique du capital naturel forestier

Le capital naturel est représenté dans le modèle par le stock forestier. Son évolution résulte de trois mécanismes principaux :

1. la régénération naturelle ;
2. la déforestation ou la dégradation ;
3. les actions de restauration.

La dynamique générale s'écrit :

$$F_{t+1} = F_t + r_f F_t - d_t F_t + B_t \quad (4)$$

Où :

- r_f représente le taux de régénération ;
- d_t représente le taux de déforestation ou de dégradation ;
- B_t représente les actions additionnelles de restauration.

Cette formulation permet de représenter explicitement le caractère dynamique du capital naturel. Contrairement à une variable environnementale statique, le stock forestier peut augmenter, se stabiliser ou diminuer selon l'équilibre entre les mécanismes de régénération, de dégradation et de restauration.

Dans le scénario de transition renforcée, l'effort additionnel de restauration est notamment représenté par :

$$B_t = 0,001F_t \quad (5)$$

Cette hypothèse correspond à un mécanisme volontaire de renforcement du capital forestier. Elle permet d'examiner comment des politiques de restauration peuvent modifier la trajectoire à long terme du système.

Le choix de représenter explicitement la forêt comme un stock dynamique s'inscrit dans les approches qui soulignent l'importance des mécanismes de rétroaction et de l'évolution des stocks écologiques dans l'analyse de la soutenabilité. Les modèles forestiers dynamiques montrent notamment l'intérêt de représenter les évolutions temporelles des ressources et de leurs interactions avec les mécanismes de gestion et les flux de carbone.

3.4. Émissions et dynamique de décarbonation

Les émissions annuelles de CO_2 sont supposées dépendre du niveau de production et de l'intensité carbone de l'économie.

$$E_t = \phi_t Y_t \quad (6)$$

Où :

- E_t représente le flux des émissions annuelles ;
- ϕ_t représente l'intensité carbone.

L'intensité carbone évolue selon une trajectoire de décarbonation :

$$\phi_t = \phi_{2024}(1 - \gamma)^{t-2024} \quad (7)$$

Où γ mesure le taux annuel de réduction de l'intensité carbone.

Cette formulation permet de distinguer deux mécanismes. D'une part, une augmentation de la production tend, toutes choses égales par ailleurs, à accroître les émissions. D'autre part, la diminution progressive de l'intensité carbone réduit la quantité d'émissions associée à chaque unité de production.

La trajectoire des émissions dépend donc de l'interaction entre la croissance de la production et la réduction de l'intensité carbone. Cette relation constitue l'un des mécanismes essentiels permettant d'examiner les possibilités de découplage entre activité économique et émissions. Les modèles dynamiques appliqués aux politiques climatiques soulignent précisément l'intérêt de représenter conjointement l'accumulation du capital, l'activité économique et les transformations technologiques ou énergétiques qui modifient l'intensité environnementale de la production.

3.5. La pression environnementale cumulative

Afin de distinguer les émissions annuelles des pressions environnementales persistantes, le modèle introduit une variable de pression environnementale cumulative :

$$P_{t+1} = (1 - \delta_p)P_t + E_t \quad (8)$$

Où δ_p représente le taux de dissipation ou de résorption.

Cette équation est fondamentale pour l'analyse proposée. Elle signifie que la pression environnementale présente dépend simultanément de l'héritage des pressions passées et des nouvelles émissions.

Une réduction de E_t ne conduit donc pas nécessairement à une diminution immédiate de P_t .

En effet, tant que les nouvelles émissions restent supérieurs à la quantité de pression résorbée par le système, le stock cumulé peut continuer à augmenter.

Cette distinction permet de mettre en évidence un phénomène d'inertie environnementale. Une politique de décarbonation peut améliorer immédiatement la trajectoire des émissions tout en produisant des effets beaucoup plus graduels sur le niveau des pressions accumulées.

Il convient toutefois de souligner que P_t constitue ici une variable synthétique de modélisation. Elle ne représente pas directement une concentration atmosphérique observée ni un indicateur physique unique. Son rôle est de représenter, dans un cadre simplifié, le principe selon lequel les pressions environnementales peuvent s'accumuler et persister au-delà de la période au cours de laquelle elles sont générées.

4. Données, variables et hypothèses de calibration

Cette section présente les informations mobilisées pour paramétrer le modèle dynamique ainsi que les principales hypothèses retenues pour les simulations prospectives. Compte tenu de la finalité exploratoire de l'exercice, la calibration ne vise pas à produire une estimation économétrique exhaustive de chaque relation structurelle. Elle consiste plutôt à fixer des valeurs initiales et des paramètres cohérents avec les données disponibles, afin d'explorer l'évolution du système et de comparer différentes trajectoires à l'horizon 2050.

4.1. Données et variables mobilisées

La construction du modèle repose sur un ensemble de variables permettant de représenter les principales dimensions économiques et environnementales de la trajectoire étudiée. Les données disponibles (1990-2024) ont été mobilisées pour établir les conditions initiales du système et orienter le choix des paramètres utilisés dans les simulations.

Le capital économique est appréhendé à travers la dynamique de l'investissement et de l'accumulation productive. La Formation brute de capital fixe (FBCF) constitue, à cet égard, l'indicateur retenu pour représenter l'effort d'investissement. Elle est exprimée en pourcentage du PIB réel, mesuré en dollars américains constants de 2010.

La dimension environnementale est principalement représentée par les émissions annuelles de dioxyde de carbone et par la dynamique du capital naturel forestier. Les émissions de CO_2 sont exprimées en tonnes et constituent le flux environnemental directement associé à l'activité économique dans le modèle. Le capital naturel est représenté par la composante forestière, dont l'évolution est analysée à partir des mécanismes de régénération, de dégradation et, selon les scénarios, de restauration.

L'aire protégée, exprimée en pourcentage de la superficie nationale, constitue également un indicateur utile pour caractériser l'effort de préservation du capital naturel. Elle contribue à situer les trajectoires envisagées dans une perspective de protection et de conservation des ressources naturelles.

Tableau 1. Principales variables mobilisées dans le modèle

Variable	Notation	Définition / rôle dans le modèle	Unité
Capital économique	K_t	Stock de capacités productives	Indice / unité calibrée
Production	Y_t	Niveau d'activité économique	Unité monétaire calibrée
Investissement (FBCF)	s	Effort d'investissement contribuant à l'accumulation du capital	% du PIB réel
Capital naturel forestier	F_t	Stock représentant la composante forestière du capital naturel	Indice / unité calibrée
Régénération forestière	r_f	Taux annuel de régénération du capital forestier	%
Émissions de CO ₂	E_t	Flux annuel de pression environnementale	Tonnes de CO ₂
Intensité carbone	ϕ_t	Émissions associées à une unité de production	Coefficient
Pression environnementale cumulative	P_t	Stock synthétique représentant l'accumulation des pressions	Indice / unité calibrée

4.2. Principes de calibration

La calibration du modèle repose sur les données historiques disponibles et sur un ensemble d'hypothèses explicitement formulées. Compte tenu du nombre limité d'observations disponibles, il n'était pas méthodologiquement pertinent de chercher à estimer économétriquement l'ensemble des relations dynamiques du modèle.

L'approche retenue consiste donc à utiliser les données disponibles pour fixer les conditions initiales et à calibrer les paramètres de manière à produire des trajectoires cohérentes et comparables. Cette démarche est conforme à la nature prospective du modèle : les résultats doivent être interprétés comme des simulations conditionnelles, dépendantes des hypothèses retenues, et non comme des prévisions déterministes.

5. Construction des scénarios prospectifs

Cette section présente les trois trajectoires prospectives retenues pour explorer l'évolution du système à l'horizon 2050. Dans une perspective de modélisation dynamique, la démarche par scénarios ne vise pas à prédire l'avenir, mais à explorer les conséquences de différentes hypothèses et à comparer les trajectoires susceptibles d'en résulter (Fiddaman, 2002). Les scénarios permettent ainsi d'examiner les interactions entre capital économique, capital naturel et pressions environnementales selon des configurations contrastées. Les scénarios S0, S1 et S2 constituent ainsi des configurations contrastées permettant d'identifier les conditions susceptibles d'orienter le système vers des trajectoires plus ou moins soutenables.

5.1. Principe général de la scénarisation

La construction des scénarios repose sur une logique comparative. À partir d'une même structure dynamique et de conditions initiales communes, les hypothèses relatives aux mécanismes de transition sont progressivement modifiées afin d'observer leurs effets sur les trajectoires simulées.

Les trois scénarios partagent notamment une hypothèse commune concernant la régénération naturelle du capital forestier. Le coefficient de régénération forestière est fixé à :

$$r_f = 0,25\% \text{ par an}$$

Ce choix permet d'assurer une base de comparaison homogène. Les différences observées entre les trajectoires ne peuvent ainsi être attribuées à une modification arbitraire du mécanisme naturel de régénération, mais résultent des hypothèses spécifiques introduites dans chaque scénario.

Les scénarios sont organisés selon un degré croissant de transformation. S0 représente la continuité ou l'inertie ; S1 correspond à une transition progressive ; S2 représente une transition renforcée. Cette progression permet d'examiner si une intensification des efforts de transformation produit effectivement une amélioration de la trajectoire globale du système.

5.2. Scénario S0 : une trajectoire d'inertie

Le scénario S0 constitue la situation de référence. Il correspond à une évolution dans laquelle les principaux mécanismes structurels du système se prolongent sans accélération majeure de la transition environnementale. Cette trajectoire sert avant tout de point de comparaison. Elle permet de répondre à une question simple : que se passe-t-il si les mécanismes actuels ou tendanciels se poursuivent jusqu'en 2050 ? S0 ne constitue donc pas une prédiction du futur. Il représente une trajectoire de référence, indispensable pour mesurer l'écart produit par les scénarios de transition.

5.3. Scénario S1 : une transition progressive

Le scénario S1 introduit une transformation graduelle des mécanismes économiques et environnementaux. Il repose sur l'hypothèse qu'une amélioration progressive des politiques de transition peut infléchir la trajectoire du système sans provoquer une rupture immédiate avec les tendances antérieures.

5.4. Scénario S2 : une transition renforcée

Le scénario S2 représente la trajectoire de transformation la plus ambitieuse parmi les trois configurations étudiées. Il combine un renforcement des mécanismes favorables à la préservation du capital naturel avec une accélération de la réduction de l'intensité environnementale de l'activité économique.

Tableau 2 : Présentation des scénarios

Dimension	S0 : Inertie	S1 : Transition progressive	S2 : Transition renforcée
Logique générale	Prolongation des tendances	Transformation graduelle	Transformation accélérée
Régénération forestière	0,25%	0,25%	0,25%
Préservation du capital naturel	Tendancielle	Renforcée progressivement	Renforcée
Décarbonation	Limitée / tendancielle	Progressive	Accélérée
Intensité de la transformation	Faible	Intermédiaire	Élevée
Fonction analytique	Référence	Trajectoire intermédiaire	Trajectoire ambitieuse

Ce tableau doit être interprété comme une synthèse qualitative de la logique des scénarios. Les valeurs précises des paramètres utilisées dans les simulations sont celles qui ont été retenues lors de la calibration et de la construction numérique du modèle. La comparaison des trois scénarios constitue la première étape de l'exploration prospective. Elle permet d'identifier les différences générales entre les trajectoires simulées et de déterminer quelle configuration produit les résultats les plus favorables au regard des objectifs de soutenabilité.

6. Résultats des simulations prospectives à l'horizon 2050

Cette section présente les résultats des simulations prospectives réalisées jusqu'en 2050. L'analyse compare les trois scénarios S0, S1 et S2 à partir de six indicateurs représentant les principales dimensions du système : le PIB réel, le capital économique, la consommation, le capital naturel forestier, les émissions et la pression environnementale cumulative. L'introduction des valeurs initiales de 2024 permet non seulement de comparer les scénarios entre eux, mais également d'apprécier la nature et l'ampleur des transformations simulées sur l'ensemble de la période.

6.1. Comparaison générale des trajectoires

Les résultats obtenus mettent clairement en évidence une différenciation progressive des trajectoires à mesure que l'intensité de la transition est renforcée.

Tableau 3 : Evolution des principaux indicateurs entre 2024 et 2050

Indicateur	Valeur en 2024	S0 – 2050	S1 – 2050	S2 – 2050
PIB réel	16,81 Md	18,61 Md	19,04 Md	19,42 Md
Capital	82,11 Md	118,93 Md	119,71 Md	120,44 Md
Consommation	7,99 Md	8,85 Md	9,05 Md	9,23 Md
Forêt	23,48 M ha	23,18 M ha	23,88 M ha	24,48 M ha
Émissions	5 190	5 748	4 528	3 546
Pression cumulative	137 564	194 031	180 598	168 992

Note : les valeurs monétaires sont exprimées en milliards de dollars constants de 2010.

À mesure que la transition est renforcée, le capital naturel est davantage préservé, les émissions diminuent et la pression environnementale cumulative devient plus faible.

6.2. Une croissance économique maintenue dans les trois scénarios

Le premier résultat concerne la dynamique du PIB réel. Entre 2024 et 2050, celui-ci progresse dans les trois scénarios. Cette évolution montre que les trajectoires de transition ne sont pas associées, dans le cadre du modèle, à une contraction de l'activité économique. Au contraire, le renforcement de la transition s'accompagne d'un niveau de production progressivement plus élevé. De même, le capital économique et la consommation connaissent des évolutions similaires sinon plus marquées.

Ces résultats suggèrent ainsi que la transformation environnementale introduite dans le modèle n'empêche pas la poursuite de l'accumulation économique et de l'amélioration de la consommation.

6.3. Une différenciation majeure dans la trajectoire du capital forestier

La dynamique forestière constitue l'un des résultats les plus intéressants de la comparaison.

En 2024, le stock forestier est estimé à 23,48 millions d'hectares. À l'horizon 2050, les trajectoires divergent nettement.

Dans S0, la superficie forestière diminue légèrement pour atteindre tandis que dans S1 elle plus ou moins satisfaisante. C'est la trajectoire S2 qui produit le résultat le plus favorable en engrangeant un million d'hectares supplémentaires.

Ce résultat renforce la décision méthodologique prise précédemment de placer la dynamique forestière au centre de l'analyse de sensibilité. Les simulations montrent en effet que l'évolution du capital naturel constitue un facteur majeur de différenciation entre les trajectoires prospectives.

6.4. Découplage progressif entre croissance économique et émissions

Les résultats relatifs aux émissions sont particulièrement révélateurs.

Dans le scénario S0, les émissions augmentent. La poursuite d'une trajectoire d'inertie conduit donc à une aggravation de la pression annuelle liée aux émissions. La situation change dans les scénarios de transition. S1 ramène les émissions à 4 528, tandis que S2 atteint 3 546.

Ainsi, S2 combine le niveau de PIB réel le plus élevé avec le niveau d'émissions le plus faible. Cette configuration constitue l'un des résultats centraux du modèle.

6.5. La persistance de l'inertie environnementale

L'évolution de la pression environnementale cumulative apporte cependant une nuance fondamentale.

En 2024, son niveau est fixé à 137 564. Malgré les différences observées entre les scénarios, la pression cumulative reste supérieure à son niveau initial dans les trois trajectoires à l'horizon 2050. Toutefois, le scénario S2 permet de limiter significativement l'accumulation des pressions par rapport à S0 et S1, mais il ne suffit pas à inverser complètement leur dynamique avant 2050.

Ce résultat confirme l'existence d'une inertie environnementale. Une diminution des émissions annuelles, même importante, ne se traduit pas automatiquement par une baisse immédiate de la pression cumulative. Les pressions accumulées au cours des périodes antérieures continuent d'influencer la trajectoire du système.

Cette conclusion constitue un élément particulièrement important pour l'interprétation prospective : agir tôt est déterminant. Plus la réduction des émissions et la transformation des mécanismes économiques sont retardées, plus l'héritage environnemental accumulé devient difficile à résorber.

6.6. S2 : une trajectoire de soutenabilité relative

La comparaison des résultats permet d'identifier sans ambiguïté S2 comme le scénario le plus favorable parmi les trois trajectoires étudiées car il est le seul scénario dans lequel le stock forestier en 2050 dépasse clairement son niveau de 2024, tout en maintenant une progression des principaux indicateurs économiques.

Dans le cadre des hypothèses retenues, il faut toutefois parler ici de soutenabilité relative. Même dans le scénario S2, la pression environnementale cumulative demeure supérieure à son niveau initial. La trajectoire la plus favorable n'est donc pas synonyme d'une résolution complète des problèmes environnementaux, mais d'une amélioration substantielle de la dynamique par rapport aux scénarios alternatifs.

7. Analyse de robustesse et de sensibilité du modèle autour du scénario S2

L'objectif de l'analyse de sensibilité consiste à examiner si les principaux résultats qualitatifs du modèle demeurent valables lorsque certaines hypothèses structurelles sont modifiées. La question centrale est donc de savoir dans quelle mesure la trajectoire obtenue dépend de valeurs particulières des paramètres ou, au contraire, conserve une certaine stabilité qualitative face à leur variation. Dans une démarche de modélisation dynamique, l'évaluation d'un modèle ne repose pas exclusivement sur l'ajustement statistique, mais également sur l'examen de la cohérence de sa structure, de ses hypothèses et de son comportement lorsque les paramètres essentiels sont soumis à des variations (Barlas, 1996).

L'analyse est réalisée autour du scénario S2, identifié précédemment comme la trajectoire la plus favorable. Quatre paramètres sont successivement examinés : le taux de régénération forestière ; le taux de dissipation de la pression environnementale ; la vitesse de décarbonation et le taux de dépréciation du capital.

Afin d'identifier clairement l'origine des variations observées, une analyse de sensibilité univariée est retenue : un seul paramètre est modifié à la fois, tandis que les autres hypothèses du scénario S2 restent constantes.

7.1. Sensibilité à la dynamique de régénération forestière

La première analyse concerne le taux de régénération forestière, qui est devenu un élément central de notre réflexion sur la soutenabilité des trajectoires.

Trois hypothèses sont comparées : une hypothèse pessimiste ($r_f = 0\%$) ; une hypothèse centrale ($r_f = 0,25\%$) ; et une hypothèse favorable ($r_f = 1\%$).

L'hypothèse centrale correspond à la valeur retenue pour les simulations de référence S0, S1 et S2. Les résultats obtenus à l'horizon 2050 sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 4 : Sensibilité de S2 aux taux de régénération forestière à l'horizon 2050

Indicateur	$r_f = 0\%$	$r_f = 0,25\%$	$r_f = 1\%$
PIB réel	18,46 Md	19,42 Md	22,60 Md
Capital productif	118,37 Md	120,44 Md	127,07 Md
Consommation	8,77 Md	9,23 Md	10,74 Md
Forêt	22,94 M ha	24,48 M ha	29,73 M ha
Émissions	3 371	3 546	4 127
Pression cumulative	166 903	168 992	175 672

Les résultats mettent en évidence une forte sensibilité de la trajectoire globale à la dynamique forestière.

Cette simulation confirme donc que la dynamique forestière exerce une influence majeure non seulement sur le capital naturel, mais également sur la trajectoire économique du système.

Un résultat mérite toutefois une attention particulière : une régénération forestière plus élevée s'accompagne ici d'émissions et d'une pression cumulative légèrement supérieures. Ce résultat ne constitue pas nécessairement une contradiction. Il traduit plutôt les interactions dynamiques internes du modèle : une amélioration plus importante du capital naturel favorise également une trajectoire économique plus dynamique, susceptible de générer davantage d'activité et donc davantage de pressions.

L'enseignement principal est donc que la forêt agit comme un paramètre structurel de la trajectoire, et non comme une simple variable environnementale indépendante du système économique.

7.2. Sensibilité au taux de dissipation environnementale

La deuxième analyse porte sur le taux de dissipation de la pression environnementale cumulative.

Tableau 5 : Sensibilité de la pression cumulative au taux de dissipation

Hypothèses	Taux de dissipation	Pression cumulative en 2050
Basse	$\delta_p = 1\%$	205 399
Référence	$\delta_p = 2\%$	168 992
Haute	$\delta_p = 3\%$	139 879

Cette simulation confirme l'importance de la dynamique cumulative dans le modèle. La réduction des émissions annuelles ne constitue pas le seul déterminant de l'état environnemental futur. La vitesse à laquelle les pressions accumulées peuvent être absorbées ou dissipées joue également un rôle fondamental.

Le résultat est particulièrement important pour l'interprétation prospective : la transition doit simultanément réduire la production de nouvelles pressions et améliorer la capacité du système à résorber l'héritage environnemental du passé.

7.3. Sensibilité à la vitesse de décarbonation

La troisième analyse porte sur la vitesse de décarbonation de l'économie.

Tableau 6 : Sensibilité de S2 à la vitesse de décarbonation à l'horizon 2050

Indicateur	$\phi = 1\%$	$\phi = 2\%$	$\phi = 3\%$
PIB réel	19,42 Md	19,42 Md	19,42 Md
Capital productif	120,44 Md	120,44 Md	120,44 Md
Consommation	9,23 Md	9,23 Md	9,23 Md
Forêt	24,48 M ha	24,48 M ha	24,48 M ha
Émissions	4 617	3 546	2 716
Pression cumulative	181 447	168 992	158 423

Cette simulation produit un résultat particulièrement clair : la vitesse de décarbonation affecte directement les variables environnementales, sans modifier, dans cette configuration, les principaux agrégats économiques du modèle. Une accélération de la décarbonation améliore donc significativement la trajectoire environnementale sans entraîner, dans les hypothèses retenues, de diminution du PIB, du capital ou de la consommation.

7.4. Sensibilité au taux de dépréciation du capital

La quatrième analyse porte sur le taux de dépréciation du capital productif.

Tableau 7 : Sensibilité de S2 au taux de dépréciation du capital à l'horizon 2050

Indicateur	$\delta_K = 1,5\%$	$\delta_K = 2,5\%$	$\delta_K = 3,5\%$
PIB réel	20,55 Md	19,42 Md	18,37 Md
Capital productif	145,57 Md	120,44 Md	100,07 Md
Consommation	9,77 Md	9,23 Md	8,73 Md
Forêt	24,48 M ha	24,48 M ha	24,48 M ha
Émissions	3 753	3 546	3 354
Pression cumulative	171 734	168 992	166 364

Les résultats révèlent une forte sensibilité de la trajectoire économique au taux de dépréciation. Cette simulation confirme que la capacité à maintenir et renouveler le capital productif constitue une condition importante de la performance économique de long terme.

Un résultat intéressant apparaît toutefois du côté environnemental : une dépréciation plus forte réduit également les émissions et la pression cumulative. Cette évolution s'explique par le ralentissement relatif de l'activité économique. Elle met ainsi en évidence un arbitrage potentiel entre dynamique productive et pression environnementale lorsque l'amélioration environnementale résulte non pas d'une transformation technologique, mais d'une diminution de l'activité économique.

7.5. Enseignement général de l'analyse de robustesse

S2 ne doit pas être considéré comme une trajectoire mécaniquement garantie. Ses résultats dépendent de plusieurs paramètres et certaines variations peuvent modifier sensiblement les niveaux atteints en 2050. L'analyse de sensibilité montre toutefois que l'intérêt du modèle ne réside pas dans la production d'une valeur unique présentée comme certaine, mais dans sa capacité à mettre en évidence la manière dont différentes hypothèses modifient le comportement global du système.

Néanmoins, l'analyse met en évidence une conclusion robuste : la soutenabilité résulte d'une combinaison de mécanismes complémentaires. Et la principale contribution du modèle réside précisément dans cette mise en évidence des interactions entre capital économique et capital naturel. Les résultats suggèrent qu'une trajectoire soutenable ne repose ni sur la seule croissance économique, ni sur la seule protection environnementale, mais sur la transformation progressive des relations qui unissent ces deux dimensions.

8. Conclusion générale

Cette recherche avait pour objectif d'explorer les interactions dynamiques entre capital économique et capital naturel dans une perspective de soutenabilité à long terme, en proposant une modélisation prospective appliquée au Gabon à l'horizon 2050. L'enjeu central était de dépasser une représentation du développement fondée sur une opposition supposée entre croissance économique et préservation de l'environnement, afin d'examiner dans quelles conditions ces deux dimensions peuvent évoluer conjointement selon une trajectoire plus soutenable.

La modélisation proposée repose sur l'interaction entre plusieurs composantes essentielles du système : la production, l'accumulation du capital économique, la consommation, la dynamique du capital forestier, les émissions et la pression environnementale cumulative. L'approche par scénarios a permis de comparer trois trajectoires prospectives, S0, S1 et S2, puis d'approfondir l'analyse autour du scénario S2 à travers une analyse de sensibilité portant sur les principaux paramètres du modèle.

Les résultats montrent une différenciation nette des trajectoires à l'horizon 2050. Le scénario S2 apparaît comme la configuration la plus favorable parmi les trois scénarios étudiés. Il combine le niveau le plus élevé de production, de capital économique et de consommation avec le niveau le plus important de capital forestier et les niveaux les plus faibles d'émissions et de pression environnementale cumulative.

Ce résultat constitue l'un des principaux enseignements de la recherche. Il suggère qu'une amélioration simultanée des performances économiques et de la préservation du capital naturel est envisageable lorsque les mécanismes de transformation sont suffisamment cohérents. La soutenabilité ne doit donc pas être interprétée comme une limitation extérieure imposée à l'économie, mais comme une transformation progressive des relations entre les différentes formes de capital.

L'analyse de sensibilité apporte toutefois une nuance importante. Les trajectoires obtenues restent dépendantes de plusieurs hypothèses de paramétrisation. La dynamique forestière apparaît notamment comme un déterminant majeur de l'évolution du système, tandis que la vitesse de décarbonation influence directement les émissions et la pression environnementale. Le taux de dissipation environnementale conditionne la capacité à limiter l'accumulation des pressions, alors que le taux de dépréciation du capital exerce une influence importante sur la dynamique économique.

Ces résultats mettent également en évidence l'existence d'une inertie environnementale. Même dans la trajectoire la plus favorable, la réduction des émissions ne permet pas nécessairement d'effacer immédiatement les pressions accumulées. Cette conclusion souligne l'importance d'une action précoce : plus la transformation est engagée tardivement, plus l'héritage environnemental devient difficile à résorber.

Dans le contexte gabonais, la recherche conduit ainsi à considérer le capital naturel, et particulièrement le capital forestier, comme une composante stratégique du développement de long terme. La forêt ne constitue pas uniquement une ressource à préserver ou une contrainte environnementale ; elle représente également un actif susceptible de participer à la construction d'une trajectoire économique plus durable. L'enjeu consiste alors à organiser les conditions d'une articulation plus cohérente entre valorisation économique, préservation des écosystèmes et transformation productive.

L'intelligence artificielle peut, dans cette perspective, jouer un rôle transversal. Sans être intégrée explicitement comme variable structurelle du modèle, elle constitue un levier potentiel d'amélioration du suivi du capital naturel, de l'efficacité productive, de l'optimisation énergétique et de la planification prospective. Son intérêt réside moins dans la technologie elle-même que dans sa capacité à renforcer les mécanismes de connaissance, de surveillance, d'anticipation et de décision nécessaires à la transition.

La portée de cette recherche doit néanmoins être interprétée avec prudence. Le modèle ne prétend pas prévoir avec exactitude l'état de l'économie gabonaise en 2050. Il propose plutôt un cadre exploratoire permettant d'étudier des trajectoires conditionnelles et d'identifier les interactions susceptibles de favoriser ou, au contraire, de compromettre la soutenabilité. Les contraintes liées à la disponibilité des données, au nombre d'observations, au caractère agrégé de certaines variables et aux hypothèses de paramétrisation constituent autant de limites qui ouvrent des perspectives d'amélioration.

Ces limites ne réduisent cependant pas l'intérêt de l'approche. Elles définissent au contraire son caractère évolutif. L'enrichissement des données, la désagrégation sectorielle du modèle, l'élargissement de la représentation du capital naturel, l'intégration de

variables sociales et institutionnelles ou encore le développement d'analyses de sensibilité multivariées permettraient d'approfondir progressivement la compréhension des trajectoires soutenables.

En définitive, la contribution principale de cette étude réside dans la proposition d'une lecture dynamique de la soutenabilité. Le développement ne peut être réduit à l'accumulation du capital économique, pas plus que la préservation de l'environnement ne peut être conçue indépendamment des conditions matérielles de la transformation productive. Les deux dimensions sont interdépendantes.

La question centrale n'est donc pas de choisir entre croissance et nature, mais de transformer les mécanismes de développement afin que l'accumulation de richesse économique ne repose plus sur la dégradation du capital naturel, mais puisse progressivement s'appuyer sur sa préservation, sa restauration et sa valorisation durable.

C'est dans cette transformation des interactions entre capital économique et capital naturel que se situe, à l'horizon 2050, la véritable perspective d'une trajectoire soutenable pour le Gabon.

9. Références bibliographiques

- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12(3), 183–210. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199623\)12:3<183::AID-SDR103>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199623)12:3<183::AID-SDR103>3.0.CO;2-4)
- Capellán-Pérez, I., de Blas, I., Nieto, J., de Castro, C., Miguel, L. J., Carpintero, Ó., Mediavilla, M., Lobejón, L. F., Ferreras-Alonso, N., Rodrigo, P., Frechoso, F., & Álvarez-Antelo, D. (2020). MEDEAS: A new modeling framework integrating global biophysical and socioeconomic constraints. *Energy & Environmental Science*, 13(3), 986–1017. <https://doi.org/10.1039/C9EE02627D>
- Ekins, P., Simon, S., Deutsch, L., Folke, C., & de Groot, R. (2003). A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. *Ecological Economics*, 44(2–3), 165–185. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00272-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00272-0)
- Feder, C., Callegari, B., & Collste, D. (2024). The system dynamics approach for a global evolutionary analysis of sustainable development. *Journal of Evolutionary Economics*, 34(2), 351–374. <https://doi.org/10.1007/s00191-024-00866-6>
- Fiddaman, T. S. (2002). Exploring policy options with a behavioral climate–economy model. *System Dynamics Review*, 18(2), 243–267. <https://doi.org/10.1002/sdr.241>
- Hjorth, P., & Bagheri, A. (2006). Navigating towards sustainable development: A system dynamics approach. *Futures*, 38(1), 74–92. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2005.04.005>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Jones, L., Norton, L., Austin, Z., Browne, A. L., Donovan, D., Emmett, B. A., Grabowski, Z. J., Howard, D. C., Jones, J. P. G., Kenter, J. O., Manley, W., Morris, C., Robinson, D. A., Short, C., Siriwardena, G. M., Stevens, C. J., Storkey, J., Waters, R. D., & Willis, G. F. (2016). Stocks and flows of natural and human-derived capital in ecosystem services. *Land Use Policy*, 52, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.12.014>
- Lauinger, D., Billy, R. G., Vázquez, F., & Müller, D. B. (2021). A general framework for stock dynamics of populations and built and natural environments. *Journal of Industrial Ecology*, 25(5), 1136–1146. <https://doi.org/10.1111/jiec.13117>
- Mace, G. M., Hails, R. S., Cryle, P., Harlow, J., & Clarke, S. J. (2015). Towards a risk register for natural capital. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 641–653. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12431>
- Moffatt, I., & Hanley, N. (2001). Modelling sustainable development: Systems dynamic and input–output approaches. *Environmental Modelling & Software*, 16(6), 545–557. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(01\)00024-X](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(01)00024-X)
- Neumayer, E. (2013). *Weak versus strong sustainability: Exploring the limits of two opposing paradigms* (4th ed.). Edward Elgar Publishing.
- Pearce, D. W., & Atkinson, G. D. (1993). Capital theory and the measurement of sustainable development: An indicator of “weak” sustainability. *Ecological Economics*, 8(2), 103–108. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(93\)90039-9](https://doi.org/10.1016/0921-8009(93)90039-9)
- Randers, J. (2000). From limits to growth to sustainable development or SD (sustainable development) in a SD (system dynamics) perspective. *System Dynamics Review*, 16(3), 213–224. [https://doi.org/10.1002/1099-1727\(200023\)16:3<213::AID-SDR197>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/1099-1727(200023)16:3<213::AID-SDR197>3.0.CO;2-E)
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin/McGraw-Hill.
- United Nations Environment Programme, & International Resource Panel. (2024). *Global resources outlook 2024: Bend the trend—Pathways to a liveable planet as resource use spikes*. United Nations Environment Programme.
- World Bank. (2024). *Gabon economic update 2024: Designing fiscal policies for sustainable forestry*.
- World Bank. (2025). *Gabon economic update 2025: Building and preserving Gabon's wealth for better livelihoods*.