



Titre: Dépasser le mirage vert : la modularité comme assise des écolabels
Title: de nouvelle génération dans le secteur du tourisme

Auteur: Sarah Teigeiro
Author:

Date: 2026

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Teigeiro, S. (2026). Dépasser le mirage vert : la modularité comme assise des
Citation: écolabels de nouvelle génération dans le secteur du tourisme [Ph.D. thesis,
Polytechnique Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/76534/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/76534/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Sophie Bernard, & Jean-Marc Frayret
Advisors:

Programme: Doctorat en génie industriel
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Dépasser le mirage vert : la modularité comme assise des écolabels de nouvelle
génération dans le secteur du tourisme**

SARAH TEIGEIRO

Département de mathématiques et de génie industriel

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de *Philosophiæ Doctor*

Génie industriel

Avril 2026

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Cette thèse intitulée :

Dépasser le mirage vert : la modularité comme assise des écolabels de nouvelle génération dans le secteur du tourisme

présentée par **Sarah TEIGEIRO**

en vue de l'obtention du diplôme de *Philosophiæ Doctor*

a été dûment acceptée par le jury d'examen constitué de :

Fabiano ARMELLINI, président

Sophie BERNARD, membre et directrice de recherche

Jean-Marc FRAYRET, membre et codirecteur de recherche

Martin TRÉPANIÉ, membre

Paul ARSENEAULT, membre externe

DÉDICACE

*À ma famille,
PERSEVERANCIA, CONSTANCIA Y FE*

REMERCIEMENTS

Ce parcours doctoral, quoiqu'il ait paru solitaire, a été entouré de personnes bienveillantes, qui ont cru en moi et m'ont épaulé tout au long de cette aventure ou qui y ont contribué de près ou de loin. Dans un premier temps, je tiens à remercier ma directrice de thèse, Sophie Bernard, et mon codirecteur, Jean-Marc Frayret, qui m'ont épaulé, encouragé et soutenu de manière indéfectible, et m'ont offert de nombreux conseils pour arriver de l'autre côté de la rive. Ce fut un voyage riche et très formateur. Merci d'avoir fait ce long voyage à mes côtés jusqu'à la fin, j'en suis très reconnaissante

Merci à Fabiano Armellini pour la confiance accordée dans l'organisation de la conférence académique et dans la coordination du groupe de recherche GMT, ainsi que ses encouragements au cours des années. Merci à William De Paula Ferreira pour les nombreuses discussions sur le parcours doctoral, ainsi que sur l'importance de l'équilibre entre la vie personnelle, la santé mentale et la santé physique. Je remercie également des professionnels de recherche, comme Nicholas Roy-Heppel du CIRAIG, pour sa générosité en temps, ainsi que pour les discussions, les conseils et les réflexions autour de l'ACV qui m'ont été d'une grande aide! Merci à Laurence Solar-Pelletier de qui j'ai beaucoup appris, un modèle de persévérance et de rigueur. Elle a cru en moi dès le début, m'a donné confiance en mes habiletés et m'a soutenu dans ma recherche de bourses.

Sans le soutien du personnel de Polytechnique et leur magnifique travail., ce travail n'aurait pas eu lieu. Je pense notamment au personnel de la Bibliothèque, aux agentes aux dossiers des étudiant.e.s pour les rappels et les encouragements, notamment à Melisa Regalado, Suzanne Guidon et Ilhan. Paul Brunelle pour le soutien technique, ses disponibilités et ses conseils pour tout souci informatique. Zeina Tamaz, aux communications du département MAGI, pour sa belle énergie et son ouverture à la collaboration.

Merci aux étudiant.e.s que j'ai croisé pendant ce long périple, je pense notamment à Ali, Anuradha, Anas, Gabriel, Grégoire, Joliann, Marie, Maryam, Morteza, Valérie, Zhara et j'en passe certainement et je m'en excuse! Je remercie également la communauté Thèsez-Vous, sans qui la thèse n'aurait pas abouti. Merci pour les centaines de tomates et merci chaleureux à Antoine, Catherine, Caio, Émilie (partner in crime), François, Isabelle, Judy, Karine, Marie, Nadielda, Sara, Taïna, Valérie, et toutes les belles âmes que j'y ai croisées, à l'espace, aux retraites de rédaction et

lors des cohortes du samedi. Je réitère que l'aboutissement de ce travail n'aurait pas été possible sans la communauté Thèsez-Vous. Vraiment, MERCI!

Je tiens également à remercier l'équipe d'aviron de l'Université de Montréal et le Club d'aviron de Montréal, mes coéquipier.e.s, rameur.se.s (notamment Andréanne, ma partenaire de bateau !), et entraîneur.euse.s, qui ont fait une différence dans mon parcours. Un sport qui a repoussé mes limites physiques et mentales, tout en instaurant une discipline hors norme dans ma vie.

Merci également à mon partenaire de recherche, Maxime Duval, pour son ouverture et sa grande générosité, ainsi qu'à un groupe d'étudiants et d'étudiantes, pour la collecte de données. Merci pour ta patience dans cette aventure et merci également au personnel engagé, qui a été d'une aide inestimable, je pense notamment à Annie et Frank. Un grand merci également au groupe d'étudiant.e.s du programme PRISME avec qui nous avons collaboré et partagé de bons moments et de discussions à la pourvoirie. Merci à Alexandre, Christian, Émile, Léo et Marie-Julie. C'était un réel plaisir de voir votre génération curieuse et pleine d'idées.

Une pensée spéciale pour mes ancien.nes collègues à l'ECPAR. Merci pour votre appui, votre compréhension et pour avoir accepté d'accommoder mon horaire pour jongler avec le doctorat au cours des trois dernières années, et surtout pour les échanges si riches en idées (l'équipe de la rose des vents!). Merci, Alexandre, Aure, Béatrice, Carole, Eléna, Laurence, Maude et Noémie.

Merci à mes précieux.euses ami.e.s, Alex, Axel, Camille, Erin, Gabrielle, Guillaume, Myriam, Stéphanie, Sukko, Virginie (je m'excuse si j'en oublie!), merci d'avoir été présent.e.s d'une manière ou d'une autre pour m'encourager et me donner la force quand il y en avait plus, et plus quand il y en avait toujours! Merci d'avoir été à l'écoute pendant des moments particulièrement difficiles à surmonter ces dernières années, je vous aime fort!

Finalement, ma plus profonde gratitude va à ma famille. Mes parents, pour leur soutien, leur bienveillance et leur amour inconditionnel, et mes frères, Manuel et Gabriel, sur qui je peux toujours compter et de qui je ne pourrais pas me passer. Merci également à Amanda et à mes neveux Luis et Félix pour le rayon de soleil qu'ils apportent partout où ils vont. Je suis profondément fière de la solidarité de notre famille face aux épreuves de la vie. Merci à Jérôme pour sa patience tout au long de cette aventure, c'est un nouveau départ!

Pour finir, MERCI LA VIE! Merci pour la santé.

RÉSUMÉ

La communication environnementale étudie la manière dont les discours sur l'environnement façonnent nos perceptions et orientent nos comportements face aux crises environnementales. Si elle aspire à entraîner un changement positif, elle porte également un devoir d'intégrité qui exige de rapporter les faits avec rigueur, de favoriser la transparence et de dénoncer les représentations incohérentes. Or, cette communication environnementale est fragilisée par la montée de l'écoblanchiment, c'est-à-dire la diffusion d'allégations environnementales excessivement positives ou trompeuses sans données vérifiables à l'appui. Alors que les écolabels sont considérés comme un outil pour lutter contre ce phénomène, ils n'en sont pas à l'abri et présentent leurs propres défis structurels. D'ailleurs, des pays se sont mobilisés au cours des dernières années pour y faire face, notamment le Canada, la France, les pays du Royaume-Uni et les pays de l'Union européenne. La Commission européenne travaille actuellement sur une directive visant à renforcer les exigences en matière de déclarations environnementales, fondées sur des preuves scientifiques. Cette thèse porte sur l'industrie touristique, particulièrement exposée à ce phénomène. Malgré les efforts pour mettre en œuvre des formes de tourisme plus durables, l'industrie génère des impacts environnementaux non négligeables appelés à croître au cours des prochaines années, ce qui appelle à une production et une consommation plus durables. La complexité de l'industrie rend toutefois la tâche ardue. Il s'agit d'une industrie composée de sous-industries fragmentées, dont les chaînes d'approvisionnement sont décentralisées et les services hétérogènes. C'est une industrie qui interagit fortement avec son environnement, au point d'en être au cœur, d'en dépendre et de contribuer à sa dégradation. Les écolabels souffrent, quant à eux, d'une prolifération induisant la confusion, ainsi que d'enjeux de gouvernance, d'harmonisation et d'accessibilité qui en limitent l'efficacité. C'est dans ce contexte que cet ouvrage propose de mobiliser le concept de modularité comme approche structurante pour soutenir l'objectif principal de cette thèse, qui est d'améliorer les communications environnementales dans l'industrie du tourisme. Le cœur de cette thèse s'articule autour de trois contributions complémentaires présentées sous la forme d'articles scientifiques.

La première contribution vise à identifier les enjeux des écolabels face à la complexité de l'industrie touristique et à étudier le potentiel de la modularité pour y répondre. À partir d'une revue de la littérature narrative systématisée, elle identifie trois grandes thématiques d'enjeux que sont la gouvernance, la conception harmonisée ainsi que les iniquités et inégalités pour lesquels six

attributs souhaitables pour les écolabels sont identifiés. Ces attributs sont la crédibilité, l'intégration aux instruments politiques, la flexibilité, l'uniformisation, la robustesse et l'accessibilité. À partir de l'évaluation du potentiel de six caractéristiques de la modularité pour supporter ces attributs, cette étude note le potentiel d'accroître la coordination entre gouvernements et organismes, d'adopter une vision systémique intégrée, ainsi que d'accroître l'harmonisation par la standardisation et la capacité d'interopérabilité, tout en s'adaptant aux contextes locaux et aux diverses sous-industries. Les constats tirés de cette première contribution définissent les attributs souhaitables d'un écolabel touristique et établissent le potentiel de la modularité pour y répondre, posant ainsi les bases d'un système capable de structurer la mesure de la durabilité.

Dans un deuxième temps, cette thèse propose un cadre de modélisation systémique modulaire, multiperspective et multidimensionnel visant à structurer la mesure de l'écocoefficience de l'industrie touristique. Alors que les modèles existants manquent de représentation systémique, ce cadre s'appuie sur le concept de modularité pour modéliser le système touristique dans sa complexité, selon diverses perspectives (e.g., des destinations, des sous-industries, des prestataires de services, des voyageurs et des consommateurs) à différents niveaux hiérarchiques du système de production et de consommation. Le système y est décomposé en modules standardisés et agencables, représentés visuellement à l'aide d'une approche inspirée de la modélisation orientée objet. Une équation IPAT adaptée au contexte touristique permet d'en rendre compte mathématiquement, en intégrant les variables technologiques et économiques qui influencent l'écocoefficience. Ce cadre offre ainsi une voie vers la standardisation et la flexibilité pour soutenir l'amélioration des communications environnementales dans l'industrie, afin de divulguer la mesure de ses impacts sur la durabilité.

Pour démontrer l'application de ce cadre et son utilité concrète, cette thèse propose une méthode systématique et modulaire pour l'opérationnaliser. Cette méthode en quatre étapes est appliquée au tourisme halieutique québécois selon deux perspectives, soit celle de prestataires de services hôteliers de type pourvoirie et celle d'un voyageur chargé de concevoir un forfait touristique (séjour). Les deux premières étapes consistent à caractériser les systèmes en les définissant et en les décomposant en modules pour ensuite créer des scénarios à évaluer et à interpréter pour une prise de décision. L'approche montre que le voyageur réutilise les modules d'hébergement standardisés des prestataires pour la composition de forfaits, démontrant ainsi l'interopérabilité et la réutilisabilité des modules du système, ce qui offre une flexibilité grâce à la standardisation.

Grâce à des stratégies de modularité, ces agencements et la confection de scénarios modulaires sont réalisés au sein de l'équation IPAT. Les résultats de 25 scénarios indiquent que les sources d'énergie renouvelables des installations d'hébergement surpassent généralement les combustibles fossiles, et que le transport constitue la principale source d'impacts du côté du voyageur. Dans l'ensemble, les meilleures stratégies d'efficacité sont les déplacements moins fréquents, combinés à des taux d'occupation élevés et à l'évitement du transport aérien, des séjours prolongés chez des fournisseurs de services hôteliers utilisant des énergies renouvelables et tenant compte des déplacements d'impact, mais la meilleure option est de ne pas voyager du tout. En vue de l'application de la mesure aux écolabels, ces résultats montrent comment la standardisation, la transparence de l'information et une structure modulaire peuvent favoriser la réutilisation de la mesure de la durabilité des modules au sein des chaînes d'approvisionnement et ainsi offrir une approche systémique. Cette démarche présente ainsi un potentiel d'écolabels applicables aux forfaits touristiques.

Ces trois contributions s'inscrivent dans les domaines de la communication environnementale et de l'ingénierie appliquée aux études touristiques. L'originalité de cette thèse réside dans la transposition de la modularité afin d'améliorer les communications environnementales et de modéliser des services touristiques complexes à des fins de durabilité, à travers une approche multiperspective. Au meilleur de nos connaissances, cette recherche est également la première à poser les fondements d'un écolabel pour les forfaits touristiques grâce aux apports d'une architecture de l'information environnementale favorisant l'accès à l'information sur leur empreinte réelle. Le cœur de cette recherche s'adresse ainsi aux organismes d'écolabellisation, aux gouvernements, aux entreprises et à la communauté scientifique engagés à améliorer les communications environnementales dans le tourisme.

Cette thèse a été réalisée grâce au soutien financier du Conseil de recherches en sciences humaines du Canada (CRSH), du Réseau de recherche sur l'économie circulaire du Québec (RRECQ), du Groupe de recherche en Gestion et mondialisation de la technologie (GMT) et du Centre interdisciplinaire de recherche en opérationnalisation du développement durable (CIRODD).

ABSTRACT

Environmental communication studies how environmental discourses shape our perceptions and guide our behaviours in the face of environmental crises. While it aspires to bring positive change, it carries a duty of integrity that demands rigorous reporting of facts, the promotion of transparency, and the denunciation of inconsistent representations. Yet this communication is being undermined by the rise of greenwashing, known as the dissemination of excessively positive or misleading environmental claims without verifiable data to support them. Although ecolabels are considered a tool for combating this phenomenon, they are not immune to it and present their own structural challenges. In recent years, several countries have been addressing this greenwashing issue, including Canada, France, the United Kingdom, and the member states of the European Union. The European Commission is currently working on a directive aimed at strengthening requirements for environmental claims, grounded in scientific evidence. This thesis focuses on the tourism industry, which is particularly exposed to this phenomenon. Despite efforts to implement more sustainable forms of tourism, the industry generates significant environmental impacts that are expected to increase in the coming years, thus calling for more sustainable production and consumption. However, the complexity of the industry makes this a daunting task. It is an industry composed of fragmented sub-industries, with decentralised supply chains and heterogeneous services. It is an industry that interacts strongly with its environment, to the point of being at its centre, depending on it, and contributing to its degradation. Ecolabels, for their part, suffer from a proliferation that generates confusion, as well as governance, harmonisation, and accessibility challenges that limit their effectiveness. It is in this context that this thesis proposes mobilising the concept of modularity as a structuring approach to support its main objective to improve environmental communication in the tourism industry. The core of this thesis revolves around three complementary contributions presented under three scientific articles.

The first contribution aims to identify the challenges ecolabels face in the context of the complexity of the tourism industry and to study the potential of modularity to address them. Drawing on a systematised narrative literature review, it identifies three major thematic areas of challenge, which are governance, harmonised design, and inequities and inequalities. Six desirable attributes for tourism ecolabels are identified against these themes (i.e., credibility, integration with policy instruments, flexibility, standardisation, robustness, and accessibility). Through an assessment of the potential of six modularity characteristics against these attributes, this study identifies the

potential to increase coordination between governments and organisations, to adopt an integrated systemic vision, and to enhance harmonisation through standardisation and interoperability, while adapting to local contexts and diverse sub-industries. The findings of this first contribution define the desirable attributes of a tourism ecolabel and establish the potential of modularity to address them, thereby laying the groundwork for a system capable of structuring sustainability measurement.

In a second phase, this thesis proposes a modular, multiperspective, and multidimensional systemic modelling framework aimed at structuring the measurement of eco-efficiency in the tourism industry. While existing models lack systemic representation, this framework draws on the concept of modularity to model the tourism system in its full complexity, across various perspective, such as those of destinations, sub-industries, service providers, tour operators, and consumers, at different hierarchical levels of the production and consumption system. The system is decomposed into standardised, configurable modules, represented visually through an approach inspired from object-oriented modelling. An IPAT equation adapted to the tourism context provides a mathematical representation, integrating the technological and economic variables that influence eco-efficiency. This framework thus offers a pathway toward the standardisation and flexibility needed to improve environmental communication in the industry, with a view to disclosing the measurement of its sustainability impacts.

To demonstrate the application of this framework and its practical utility, this thesis proposes a systematic and modular method to operationalise it. This four-step method is applied to Quebec halieutic tourism from two perspectives, that of outfitter-type hospitality service providers and that of a tour operator responsible for designing a tourism package. The first two steps involve characterising the systems by defining and decomposing them into modules, before creating scenarios to be evaluated and interpreted for decision-making. The approach demonstrates that the tour operator reuses the standardised accommodation modules from service providers to compose packages, thereby illustrating the interoperability and reusability of the system's modules. This flexibility is made possible through standardisation. Through modularity strategies, these configurations and the creation of modular scenarios are carried out within the IPAT equation. Results from 25 scenarios indicate that renewable energy sources in accommodation facilities generally outperform fossil fuels, and that transportation is the primary source of impacts from the tour operator's perspective (tourism packages). Overall, the most effective eco-efficiency strategies

involve less frequent travel combined with high occupancy rates and the avoidance of air transport, extended stays with hospitality service providers using renewable energy and accounting for impact displacement, though the best option remains not travelling at all. These results demonstrate how standardisation, information transparency, and a modular structure can foster the reuse of sustainability measurements across supply chains, thereby offering a systemic approach. This approach thus opens the door to ecolabels applicable to tourism packages.

These three contributions are situated at the intersection of environmental communication and engineering applied to tourism studies. The originality of this thesis lies in the transposition of modularity to improve environmental communication and to model complex tourism services for sustainability purposes, through a multiperspective approach. To the best of our knowledge, this research is also the first to lay the foundations for an ecolabel applicable to tourism packages, through the contributions of an environmental information architecture that facilitates access to information on their actual footprint. The core of this research is thus directed at ecolabelling bodies, governments, businesses, and the scientific community committed to improving environmental communication in tourism.

This thesis was carried out with financial support from the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada (SSHRC), the Quebec Circular Economy Research Network (RRECQ), the Research Group in Globalization and Management of Technology (GMT) and the Centre for Interdisciplinary Research on the Operationalization of Sustainable Development (CIRODD).

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	VI
ABSTRACT	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	XVI
LISTE DES FIGURES.....	XVIII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XIX
LISTE DES ANNEXES.....	XXII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Mise en contexte.....	1
1.2 Structure de la thèse	6
CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	7
2.1 La communication environnementale	7
2.2 Les systèmes complexes comme cadre d'analyse de l'industrie touristique	14
2.3 La modularité comme levier de durabilité dans les systèmes de services touristiques..	17
2.4 Résumé de la revue	18
CHAPITRE 3 OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE	20
3.1 Objectifs de recherche	20
3.1.1 Objectif principal.....	20
3.1.2 Objectifs spécifiques	20
3.1.3 Méthodologie générale.....	21
CHAPITRE 4 ARTICLE 1 : REPENSER L'ÉCOLABELLISATION DES SYSTÈMES TOURISTIQUES COMPLEXES : UNE REVUE VERS LA MODULARITÉ ET LA MESURE DE LA DURABILITÉ	28

4.1	Résumé	28
4.2	Introduction	28
4.2.1	Prolifération et caractérisation	30
4.2.2	Retombées incertaines des écolabels.....	31
4.2.3	Complexité systémique du tourisme	34
4.2.4	Objectifs et approche de recherche	34
4.3	Méthodologie	35
4.3.1	Sources et sélection des informations	35
4.3.2	Stratégie de recherche en cinq phases et sélection des études	36
4.3.3	Traitement et analyse des données	37
4.4	Résultats	39
4.4.1	Émergence des thèmes	39
4.4.2	Analyse appliquée au tourisme	49
4.4.3	L'intégration de la modularité.....	54
4.5	Discussion	56
4.5.1	Application théorique de la modularité au système touristique	58
4.5.2	Application pratique de la modularité au système touristique	60
4.5.3	Défis de mise en œuvre	61
4.6	Limites.....	63
4.7	Conclusion.....	63
CHAPITRE 5 ARTICLE 2 : A MODULAR MODELLING FRAMEWORK OF TOURISM SUSTAINABILITY: THE CASE OF ECO-EFFICIENCY		65
5.1	Abstract	65
5.2	Introduction	65
5.3	Literature review	68

5.3.1	Tourism eco-efficiency	68
5.3.2	Evaluation tools and tourism evaluation models.....	69
5.3.3	Tourism ecolabel	70
5.3.4	Modularity to facilitate the transition to eco-efficiency	71
5.3.5	Gaps' summary	72
5.4	Methodology	73
5.5	Conceptual models to measure tourism eco-efficiency.....	74
5.5.1	Tourism multidimensional and multiperspective eco-efficiency framework	74
5.5.2	Customisable perspectives and dimensions	75
5.5.3	The Modular Tourism System Model and Composition.....	77
5.5.4	Modelling and a general approach for tourism perspectives on eco-efficiency.....	80
5.5.5	Eco-efficiency impacts and assessment tools.....	84
5.6	Discussion	87
5.7	Conclusion.....	92
CHAPITRE 6 ARTICLE 3 : TOURISM ECO-EFFICIENCY THROUGH A MODULAR LENS.....		93
6.1	Abstract	93
6.2	Introduction	94
6.3	Method	96
6.3.1	Step 1_System model definition	97
6.3.2	Step 2_System decomposition	98
6.3.3	Step 3_Scenario creation and assessment	99
6.3.4	Step 4_ Interpretation and decision-making.....	101
6.4	Application.....	101
6.4.1	Step 1_System model definition	102

6.4.2	Step 2_System decomposition	103
6.4.3	Step 3_Module assessment and scenario creation.....	116
6.4.4	Step 4_ Interpretation and decision making	126
6.5	Discussion	129
6.6	Conclusion.....	132
CHAPITRE 7 DISCUSSION GÉNÉRALE		135
7.1	Retour sur les résultats	135
7.2	Limites et considérations futures.....	142
7.3	Projection de l'architecture modulaire de l'information environnementale pour les écolabels	146
CHAPITRE 8 CONCLUSION		150
RÉFÉRENCES.....		153
ANNEXES		174

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 Caractéristiques non exhaustives des écolabels	32
Tableau 4.2 Critères de sélection	36
Tableau 4.3 Stratégies de recherche et mots-clés.....	37
Tableau 4.4 Synthèse des articles recensés	39
Tableau 4.5 Attributs de performance souhaitable des écolabels (réalisation originale des auteurs, 2026).....	50
Tableau 4.6 Utilisateurs et utilisations des écolabels (autres que les consommateurs finaux) (recensement original des auteurs, 2026).....	53
Tableau 4.7 Caractéristiques de la modularité (non exhaustives) (selon Langlois (2002) et Simon (1962)) (recensement original des auteurs, 2026).....	56
Tableau 4.8 Attributs souhaitables des écolabels touristiques face à la complexité touristique (réalisation originale des auteurs, 2026)	58
Table 5.1 Tourism eco-efficiency drivers included in the matrix and their respective tourism factors associated (inspired by Sun et al. (2020))	82
Table 5.2 Scopes and life cycle stages to evaluate the environmental impacts of the tourism sector (adapted from Filimonau (2013) and Graedel (1997)).....	86
Table 5.3 Evaluation tools categories (based on Schianetz et al. (2007) with modifications).....	87
Table 6.1 Service modular architecture levels (adapted from Voss and Hsuan (2009) and Teigeiro et al. (2025))	99
Table 6.2 Tourism eco-efficiency factors by Teigeiro et al. (2025)	100
Table 6.3 System model definition	103
Table 6.4 Modules definition for outfitter hospitality services	107
Table 6.5 Definition for a tour operator tourism package.....	111
Table 6.6 Detailed description sheet_Outfitter hospitality services.....	114
Table 6.7 Detailed description sheet_Transportation options	115

Table 6.8 Outfitter hospitality services_energy technology profiles scenarios	119
Table 6.9 Perspective module alternatives damage and midpoint impact indicators.....	119
Table 6.10 Tour operator tourism package scenario impacts and damages (per package.year and person.night).....	124
Table 6.11 Tour operator tourism package scenario impacts and damages (per package.year and person.night) (cont'd and end)	125
Table 6.12 Transportation to site options sensitivity analysis	126

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 Matrice de performance environnementale et de communication environnementale pour les hôtels (Majeed et Kim, 2023)	12
Figure 3.1 Positionnement des trois articles dans le cycle de recherche en science du design.....	22
Figure 3.2 Approche méthodologique générale	23
Figure 4.1 Exécution des stratégies de recherche	38
Figure 4.2 Cadre d'écolabel touristique modulaire (réalisation originale des auteurs, 2026)	60
Figure 5.1 Literature review mapping illustrating how the concepts interconnect	73
Figure 5.2 Logical sequence applied to the concepts' use	74
Figure 5.3 Multiple perspectives and dimensions	76
Figure 5.4 Modular tourism system model illustrates the tourism modules and their relationships (links)	79
Figure 5.5 Tree nomenclature for a supplier and tour operator perspective	83
Figure 5.6 Environmental damage categories (adapted from Bulle et al. (2019))	84
Figure 5.7 Example comparing two 4-day packages to demonstrate the use of modularity visually, and applied with the general equation (5.5)	91
Figure 6.1 The systematic method for service modular modelling	98
Figure 6.2 Outfitter hospitality services decomposition	106
Figure 6.3 Outfitter hospitality services module variant	109
Figure 6.4 Tour operator tourism package decomposition	110
Figure 6.5 Tour operator tourism package module variants	113
Figure 8.1 Contributions scientifiques	150

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AB	Agriculture biologique (certification)
ACV	Analyse de cycle de vie
ADEME	Agence de la transition écologique de France
AI	Artificial intelligence
AoP	Area of protection (zone de protection)
Bcorp	Certification B Corporation
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (certification)
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism
CF	Characterisation factor (facteur de caractérisation)
CGE	Computable General Equilibrium
CLS	Chinese Carbon Labelling System
CO2 eq.	Carbone dioxide equivalent (equivalent dioxyde de carbone)
CST	Costa Rica Sustainable Travel (certification)
DALY	Disability-adjusted life year (année de vie corrigée de l'incapacité)
DEA	Data Envelopment Analysis
DEP	Déclaration environnementale de produit
DSR	Design Science Research
EASA	Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne
EDP	Environmental Declaration Product
EF	Ecological Footprint
EFA	Ecological Footprint Analysis
EPEAT	Electronic Product Environmental Assessment Tool

ESG	Critères environnementaux, sociaux et de gouvernance
EU	European Union
GDP	Gross Domestic Product
GEN	Global Ecolabelling Network
GENICES	Global Ecolabelling Network Internationally Coordinated Ecolabelling System
GHG	Greenhouse Gas
GSTC	Global Sustainable Tourism Council
GWP100	Global Warming Potential over 100 years
IATA	Association du transport aérien international
I-O	Input-Output approach
ISO	International Standardization Organisation (Organisation internationale de normalisation)
ISO/TS	ISO Technical Specification (spécification technique)
IPAT	Impact, population, affluence et technologie
LCA	Life cycle assessment
LEAF	Leaders in Environmentally Accountable Foodservice
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design (certification)
m2 PDF.m2.yr	Potential disappearance fraction of all species on a surface in m2 over a year (Fraction potentielle de disparition de toutes les espèces sur une surface en m² sur une année)
MAFC	Mécanisme d'ajustement carbone aux frontières
MCA	Multi-Criteria Analysis
MFA	Material Flow Analysis
MSC	Marine Stewardship Council (certification)
NMT	Niveau de maturité technologique

ODD	Objectifs de développement durable des Nations Unies
ONG	Organisme non gouvernemental
ONU	Organisation des Nations Unies
PCR	Product Category Rules (Règles de catégorie de produit)
PE	Partial Equilibrium
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification
PDCA	Plan-Do-Check-Act cycle
PIB	Produit intérieur brut
PME	Petites et moyennes entreprises
SFA	Substance Flow Analysis
SFI	Sustainable Forestry Initiative (certification)
STARS	Sustainability Tracking, Assessment & Rating System (certification)
TCO	Certification pour les produits de la technologie de l'information
Type I	Type d'écolabel multicritères à seuils, basé sur le cycle de vie et vérifié par une tierce partie
Type II	Autodéclarées sans vérification indépendante
Type III	Déclarations environnementales quantifiées de produits
UE	Union européenne
UN	United Nations
UNEP	United Nations Environment Programme (Programme des Nations Unies pour l'environnement)
UNWTO	United Nations World Tourism Organization (Organisation mondiale du tourisme)
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
YUL	IATA airport code for Montreal-Pierre Elliott Trudeau International Airport
YTM	IATA airport code Mont-Tremblant Airport

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A Exemples d'écolabels touristiques vérifiés par des tiers.....	174
ANNEXE B Contribution analysis for an outfitter hospitality services alternatives	182
ANNEXE C Transportation to site contributing to tourism package.....	185

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

« Il faut qu'on fasse des choix collectifs qui sont différents, et que nos gouvernements, du fédéral au municipal, créent une architecture des choix qui fasse que le choix le plus naturel, le moins cher, le plus agréable, le plus facile soit aussi le choix le plus écologique. Et on n'est pas dans ce contexte-là maintenant »,

— *Écosociologue et professeure à l'UQAM Laure Waridel*

1.1 Mise en contexte

La communication environnementale a pour principal objectif d'étudier la manière dont nous échangeons avec notre environnement, la nature, ainsi que l'impact des discours et des informations à son sujet sur nos perceptions et nos actions, afin de générer un changement positif face aux crises écologiques (Cox, 2007). Elle est communiquée par différents médias, notamment la radio, la télévision, les réseaux sociaux, des documents, l'art et des récits. Plusieurs acteurs de notre écosystème social en font usage, qu'il s'agisse des scientifiques, des gouvernements, des organismes non gouvernementaux, des entreprises, etc. Considérée comme une discipline de crise par certains auteurs, elle implique une responsabilité éthique consistant à rapporter les faits afin d'inciter à l'action (Jurin et al., 2010). La communication environnementale porte également le devoir de protéger l'intégrité des systèmes de communication afin de permettre des réponses appropriées et à la hauteur face aux crises écologiques. Ceci consiste notamment à améliorer la capacité de la société à répondre de manière appropriée aux signes environnementaux, à favoriser la transparence et à dénoncer les représentations non durables (Cox, 2007). Cette recherche porte en elle cette responsabilité et vise principalement à améliorer la communication environnementale dans l'industrie touristique.

Alors que des acteurs de l'industrie se mobilisent et mènent des actions favorables à l'atténuation des impacts, d'autres recourent à l'écoblanchiment. Cette forme de communication trompeuse vise à diffuser des informations excessivement positives sans nécessairement disposer de preuves et de données (Lyon & Montgomery, 2015; Montgomery et al., 2024). De manière générale, le manque de données réelles et transparentes sur la durabilité, ainsi que l'absence de recours à des firmes de notation et d'audit indépendant, nuisent à la crédibilité et à la capacité de la société à affronter la crise écologique (Montgomery et al., 2024). Alors que les écolabels sont identifiés comme des

outils de communication environnementale ayant un potentiel pour lutter contre l'écoblanchiment (Font et al., 2017; Lyon & Montgomery, 2015; MacLennan & De Catelle, 2025; Majeed & Kim, 2023), ils ne sont pas eux-mêmes à l'abri (Montgomery et al., 2024). La montée de ce phénomène pousse des gouvernements, dont la Commission européenne, à agir pour encadrer les communications environnementales relatives aux pratiques organisationnelles, aux produits et services, afin de protéger les consommateurs. En 2024, le Conseil européen a approuvé la proposition d'une directive sur les déclarations trompeuses (Parlement européen, 2024) selon laquelle toute allégation environnementale volontaire et explicite devra reposer sur des preuves vérifiables et des données scientifiques (MacLennan & De Catelle, 2025). Outre la prolifération des écolabels, qui sème la confusion, la littérature rapporte également des enjeux de gouvernance, d'harmonisation et d'iniquité qui, de manière générale, nuisent à l'efficacité des écolabels (Capitano et al., 2022; Fernandes Martins et al., 2022; Negi et al., 2020; Yang et al., 2024). Cette problématique liée à l'écoblanchiment touche également fortement l'industrie touristique pour laquelle les impacts environnementaux sont incontestables et largement documentés dans la littérature scientifique. Afin d'illustrer cette crise et le besoin d'améliorer les communications environnementales, voici un portrait de la situation.

Cinq des neuf seuils des limites planétaires ont été dépassés, et trois des quatre processus vitaux du système planétaire pour le tourisme ont été dépassés (climat, biodiversité et terre), le quatrième, l'eau douce mondiale, est dépassé dans plusieurs régions du monde qui sont des destinations touristiques sollicitées (Eijgelaar & Peeters, 2024). Malgré les efforts pour mettre en œuvre des formes de tourisme plus durables, l'industrie consomme 3,6 % de l'eau douce, est responsable de 5 à 8 % des émissions mondiales de CO₂ et met à risque environ 15 % des espèces menacées sur la planète (Eijgelaar & Peeters, 2024). La consommation globale de ressources du tourisme pourrait croître, notamment de 92 % (pour l'eau) à 189 % (pour l'utilisation des terres) sur la période de 2010 à 2050 (Eijgelaar & Peeters, 2024). De plus, les arrivées de touristes internationaux ont dépassé les niveaux d'avant 2019 (pré pandémie) au début de 2024 (ONU Tourisme 2025). En 2025, une hausse de 4 % est enregistrée, avec 1,52 milliard d'arrivées de touristes internationaux, soit 60 millions de plus qu'en 2024, et des recettes internationales chiffrées à 2 200 milliards de dollars américains, soit 5 % de plus qu'en 2024 (ONU Tourisme, 2026). Pour maintenir le système touristique mondial, il faudrait une croissance rapide des apports en ressources, mais le système devient simultanément de plus en plus vulnérable aux perturbations des flux de ressources

(Gössling et al., 2024). Il devient alors indispensable de produire et de consommer mieux, en misant, par exemple, sur l'écoefficient ou, dans l'idéal, en réduisant cette cadence affolée du voyage. Or, le discours est double, car malgré ses impacts, l'industrie touristique constitue également un moteur économique important, agissant comme pilier socioéconomique à travers le monde et contribuant aux objectifs de développement durable des Nations Unies (Abdou et al., 2020). Cette industrie représente plus de 10 % du produit intérieur brut (PIB), 7 % des exportations mondiales et 1 personne sur 10 y travaille à travers le monde (World Tourism Organization and United Nations Development Programme, 2018).

Cette forte présence internationale met en lumière la complexité de l'industrie touristique avec laquelle composer dans un premier temps pour améliorer les communications environnementales. Alors que le tourisme connecte plus que jamais les cultures grâce à un transport facilité, il comprend une forte présence locale, ancrée dans les communautés, avec ses infrastructures d'hébergement, de restauration et diverses activités, d'une région à l'autre, d'un pays à l'autre. Ses chaînes d'approvisionnement sont décentralisées aux quatre coins du monde, impliquent plusieurs acteurs et sont influencées par des échanges avec d'autres systèmes de manière dynamique (Jere Jakulin, 2017). Les produits et services des sous-industries du tourisme sont parfois liés par des intermédiaires, comme des voyagistes ou des réceptifs, qui conçoivent, commercialisent ou assurent la logistique locale des forfaits de voyage, ce qui rend difficile la transparence complète quant aux impacts indirects de cette industrie à travers les maillons qui la composent. La mesure de ses impacts est également difficilement comparable en raison du manque de vision systémique (Elhoushy et al., 2025). La variété d'outils d'analyse, les dimensions d'analyse (échelles, étendues, impacts de durabilité) et la grande hétérogénéité qui caractérisent l'industrie, autant en termes de produits et de services que de contextes socioéconomiques, rendent également difficile cette comparaison (Berners-Lee et al., 2011; Cadarso et al., 2016).

Dans le but d'améliorer les communications environnementales dans l'industrie touristique et de répondre aux enjeux liés à l'écoblanchiment, cette thèse s'intéresse au concept de modularité. La modularité est souvent utilisée pour faciliter la gestion de systèmes complexes, en décomposant ces systèmes en unités gérables, offrant ainsi une approche à la fois standardisée et flexible (Langlois, 2002). Le système touristique se décompose en niveaux hiérarchiques, en sous-industries, entre le transport, l'hébergement et les activités touristiques, jusqu'aux catégories de

modes de transport, de types d'hébergement et d'activités, jusqu'aux ressources consommées ou utilisées par ces produits et services.

Dans un premier temps, cette thèse étudie les caractéristiques des écolabels existants et leurs limites, afin de mieux les adapter à la complexité du tourisme. Trois thématiques d'enjeux associées aux écolabels sont identifiées dans la littérature (la gouvernance, la conception harmonisée, les iniquités et inégalités), pour lesquelles des attributs souhaitables sont identifiés (i.e., crédibilité, intégration aux instruments politiques, flexibilité, uniformisation, robustesse et accessibilité). Un point clé met en lumière la complexité du système touristique et propose une approche modulaire pour répondre aux enjeux liés aux systèmes complexes. On note notamment, une possibilité d'accroître la coordination entre gouvernements et organismes, une vision systémique intégrée, ainsi qu'une capacité d'interopérabilité standardisée, mais personnalisable selon les contextes locaux et les diverses sous-industries. Les constats tirés de cette première contribution définissent les critères désirables ainsi que les bénéfices de la modularité, qui permettent de présenter les bases d'un système visant à structurer la mesure de l'écoefficient en vue de la divulgation. Ainsi, cette thèse propose, dans un deuxième temps, un cadre de modélisation systémique modulaire, multiperspective et multidimensionnel. Dans le cadre de cette thèse, le terme « multiperspective » signifie les différents points de vue et « multidimensions » les angles d'analyse de la mesure des impacts. Ce cadre a pour but de structurer la mesure de l'écoefficient, capable de s'adapter à un ensemble de perspectives de l'industrie à différents niveaux hiérarchiques du système de production et de consommation touristique. Pour y parvenir, le concept de modularité est au cœur de la modélisation et permet d'organiser les offres touristiques tout en tenant compte des ressources utilisées, des contraintes de capacité, des impacts sur la durabilité, ainsi que des outils d'évaluation envisageables pour obtenir la ou les mesures d'une perspective. Ces dernières peuvent notamment être au niveau d'un gouvernement (territoire), d'une sous-industrie, comme l'hébergement ou le transport, d'un prestataire de services, comme un hôtel ou une attraction, des voyageurs et des réceptifs, ou des consommateurs qui assemblent des composantes d'un voyage d'affaires, de loisir ou à d'autres fins, aux quatre coins du monde. Chaque acteur a une portée d'action. Le principe de modularité permet de traiter la complexité du système touristique en décomposant le système en modules standards, dans leur forme, et en assurant leur réutilisation et leur agencement. Ceci offre une flexibilité et une structure avec lesquelles composer pour mesurer l'écoefficient des systèmes. Cette contribution propose un modèle modulaire de modélisation, inspiré de l'approche de

modélisation orientée objet, et cohérente avec une représentation mathématique à l'aide d'une équation générale, elle-même inspirée de l'équation IPAT (Font Vivanco et al., 2014; Lonca et al., 2019). Cette équation prend en compte des variables technologiques et économiques qui influencent les effets de l'écoefficient et peuvent être représentées à différents niveaux hiérarchiques et selon différentes perspectives. Selon l'organisation et les choix de modules pour représenter une perspective, les variables influencent l'agencement des produits et services, des ressources le long de la chaîne de production ou de consommation, et la performance du système modélisé. Soutenu par le concept de modularité, le cadre offre une voie vers la standardisation et une flexibilité d'utilisation des données relatives à l'écoefficient, ce qui pourrait contribuer à améliorer les communications environnementales et à répondre aux enjeux liés à l'écoblanchiment. Pour démontrer l'application de ce cadre de modélisation et son utilité, cette thèse propose enfin une méthode systématique et modulaire pour l'opérationnaliser.

Cette méthode d'application systématique repose sur quatre étapes, les plus fréquemment utilisées dans la littérature sur la modularité à des fins de décomposition de systèmes complexes (de Mattos et al., 2021; Eissens-van der Laan et al., 2016; Groetsch et al., 2021; Gu et al., 1997; Spykman et al., 2021; Voss & Hsuan, 2009), qui ont été adaptées pour offrir une flexibilité d'utilisation. Cette dernière contribution vise à caractériser les systèmes touristiques et porte principalement sur les deux premières étapes de la méthode. La première étape consiste à définir le modèle du système à l'étude ; la deuxième à le décomposer en modules. L'étape trois consiste à créer des scénarios et à les évaluer dans un cycle d'amélioration continue, visant à améliorer leur écoefficient. La dernière étape comprend l'interprétation et la prise de décision concernant la mesure de l'écoefficient du système touristique modélisé. À travers une étude de cas du tourisme halieutique d'une pourvoirie au Québec, deux perspectives sont modélisées, celles d'un prestataire de services hôteliers et d'un voyageur réceptif. Les scénarios montrent que l'usage de modules hôteliers standardisés facilite la comparaison des options en fonction de leurs impacts. Parmi les avantages constatés, cette structure modulaire permet de réutiliser les modules dans d'autres systèmes d'analyse via l'interopérabilité, comme des forfaits de voyageurs, ce qui réduit les efforts de collecte de données tout en assurant une conception cohérente et flexible. En isolant précisément les modules à forte empreinte, cette approche permet de les remplacer prioritairement ou d'ajuster les facteurs de production et de consommation liés, par exemple, au nombre de modules (e.g., nombre de voyageurs ou de nuitées), ainsi que les facteurs technologiques, tel que les types de modules sélectionnés (e.g., type de

transport ou source d'énergie des installations d'hébergement), au profit de la durabilité, dans ce cas-ci, de l'écoefficient. Cette recherche présente donc une avenue vers des écolabels mesurables et adaptables à différentes perspectives. Cette thèse s'adresse donc aux organismes d'écolabellisation, de certification et d'accréditation, aux gouvernements, aux entreprises ainsi qu'à la communauté de recherche intéressés à porter action sur les problèmes d'écoblanchiment et l'amélioration des communications environnementales. Les termes « écolabel », acceptés en français en Europe, ainsi qu'« écoétiquette », « étiquette environnementale ou écologique », communément utilisés au Québec, sont employés de manière interchangeable dans cette thèse.

1.2 Structure de la thèse

Cette thèse débute par une revue de la littérature portant sur les communications environnementales ainsi que sur les concepts clés abordés dans le corps de cet ouvrage (CHAPITRE 2). Ensuite, les objectifs de la thèse et la méthodologie générale pour les atteindre sont énoncés au CHAPITRE 3. Les chapitres 4 et 5 constituent le cœur des contributions de cet ouvrage. Le CHAPITRE 4 présente une revue de la littérature narrative sur les écolabels en tourisme comme outils spécifiques de communication environnementale, dans laquelle le potentiel de la modularité est étudié. Le CHAPITRE 5 présente un cadre conceptuel de modélisation systémique modulaire, multiperspective et multidimensionnel, permettant de modéliser les systèmes touristiques complexes et de structurer leurs impacts sur la durabilité. Ensuite, le CHAPITRE 6 propose une méthode d'application systématique du cadre conceptuel de modélisation et en démontre l'application à l'aide d'une étude de cas d'une pourvoirie au Québec. Par la suite, une discussion générale est présentée au CHAPITRE 7, et, enfin, le CHAPITRE 8 énonce les conclusions de cet ouvrage. Dans son ensemble, cette thèse se situe à l'intersection des domaines des communications environnementales et de l'ingénierie des systèmes appliqués au tourisme.

CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Ce chapitre présente la revue de la littérature sur laquelle repose l'ensemble de cette thèse. Son rôle est distinct de celui de l'Article 1 (chapitre 4) qui conduit une revue narrative systématisée portant spécifiquement sur la structure des écolabels face à la complexité du système touristique et sur le potentiel de la modularité pour y répondre, selon une méthodologie explicite et des questions de recherche définies. Le présent chapitre vise à ancrer cette thèse dans le pan de la littérature des communications environnementales, à laquelle appartiennent les écolabels, et à poser les fondements sur lesquels s'articule l'ensemble des trois articles de la thèse, en présentant la théorie des systèmes complexes et le concept de modularité. La revue est organisée en trois volets. La section 2.1 présente le domaine de la communication environnementale, ses acteurs, ses fonctions et ses dérives, notamment l'écoblanchiment, et positionne les écolabels comme des outils de communication dont les limites structurelles justifient cette recherche. La section 2.2 introduit la théorie des systèmes complexes comme cadre analytique pour comprendre l'industrie touristique, dont la nature systémique et multiperspective constitue le contexte dans lequel les outils de communication environnementale doivent s'inscrire. La section 2.3 présente la modularité comme principe structurant qui, lorsqu'elle est appliquée aux écolabels, offre une réponse aux lacunes identifiées. La section 2.4 synthétise les manquements de la littérature actuelle que cette thèse vise à combler et formule les objectifs spécifiques de recherche.

2.1 La communication environnementale

La communication environnementale étudie la manière dont nous parlons de l'environnement et les effets de ces échanges sur nos perceptions et nos actions, afin de susciter un changement positif face aux crises écologiques (Cox, 2007). Elle se manifeste dans divers médias, qu'il s'agisse d'interactions directes, de téléphone, de vidéo, de presse, de télévision, de radio ou d'Internet, et comprend des formes verbales et non verbales (Klöckner, 2015). Pour Pezzulo et Cox (2022, p. 4) elle représente à la fois une pratique pragmatique et constitutive qui informe, éduque, alerte et persuade, tout en façonnant les valeurs, les significations et les relations entre humains et non-humains. Les fonctions pragmatiques poursuivent un but communicatif en cherchant à informer, exiger ou promettre, tandis que les fonctions constitutives entretiennent des interactions qui façonnent, orientent et négocient le sens collectif. Sous une perspective psychologique, les communications environnementales sont un processus par lequel le sens de l'environnement et des

problèmes environnementaux sont échangés entre individus à travers un système de symboles, de signes et de comportements communs (Klöckner, 2015, p. 18). La littérature souligne l'importance de s'appuyer sur des faits pour inciter à l'action, bien que la plupart des recherches se concentrent encore sur l'analyse du contenu plutôt que sur l'efficacité réelle à changer les comportements (Comfort & Park, 2018; Moser, 2016). Enfin, perçue comme une discipline de crise, elle assume une responsabilité éthique et normative (Jurin et al., 2010). Elle porte notamment le devoir d'accroître la capacité de la société à répondre aux signaux environnementaux, de favoriser la transparence et de dénoncer publiquement les représentations non durables au service du bien-être des systèmes biologiques (Cox, 2007).

La communication environnementale, en tant qu'outil pragmatique, est essentielle pour éduquer, alerter et influencer les comportements en faveur de la durabilité. Klöckner (2015) souligne notamment l'importance des communications environnementales comme moyen par lequel nous percevons et interprétons les crises écologiques à travers plusieurs domaines interconnectés au sein de la société : l'ingénierie, l'économie, la sociologie, la gouvernance et la psychologie. Dans le domaine de l'ingénierie, elle soutient une approche technocentrée en facilitant l'adoption des innovations. Elle permet notamment d'informer sur les « effets de rebond », où les gains d'efficacité technologique sont annulés par des changements de consommation, influençant ainsi les modes de vie et les comportements, alors que la technique seule ne peut offrir de solution. Sous l'angle de l'économie environnementale, les biens consommés n'intègrent pas toujours le coût écologique total (défaillance de marché) et les individus, souvent rationnels isolément, mais pas socialement, tendent à prendre des décisions qui ignorent les effets cumulatifs (tragédie des communs). Les communications environnementales peuvent influencer la manière dont les choix économiques sont présentés, afin d'en faciliter la compréhension et d'apporter des changements. En sociologie environnementale, la communication analyse comment les structures et facteurs sociaux génèrent des problèmes environnementaux, comment ils impactent les sociétés tout en étudiant les discours. Elle étudie l'émergence des changements technologiques et leurs impacts sur la société et l'environnement, et décrit les interdépendances complexes entre la population, la technologie et l'organisation humaine. Les communications sont donc au cœur de la création de connaissances sur les pratiques sociales, et leur engagement s'inscrit dans la communication avec d'autres agents. Parallèlement, la gouvernance environnementale s'appuie sur la communication comme levier au sein des processus réglementaires impliquant les acteurs politiques à différentes échelles et sous

différentes structures (e.g., décentralisées), les entreprises et les ONG (organismes non gouvernementaux). Elle est essentielle lors de négociations d'accords, lorsque des réglementations doivent être mises en œuvre ou appliquées et pour assurer le soutien politique dans les systèmes démocratiques. Enfin, la psychologie environnementale étudie les interactions humain-environnement au niveau individuel, en complément à la sociologie agissant plutôt au niveau des groupes. Bien que centrée sur la cognition et la prise de décision individuelle, elle reconnaît que les comportements individuels sont ancrés dans des structures physiques et sociales.

Une bonne communication environnementale doit être compréhensible par l'audience visée afin d'éviter la confusion (Jurin et al., 2010). Ainsi, le communicateur doit s'assurer de connaître son audience, de savoir comment elle préfère recevoir de telles informations, comment elle les interprétera, et la raison pour laquelle il envoie le message (Jurin et al., 2010). De nombreux acteurs de la société composent le réseau des communications environnementales. Voici leur description selon Jurin et al. (2010). La communauté scientifique constitue une source d'information validée qui alimente les politiques gouvernementales. Ses audiences sont les autres scientifiques (via des revues spécialisées), le secteur commercial (recherche collaborative confidentielle), les médias et les gouvernements (expertise décisionnelle pour les décisions politiques et réglementaires) et le secteur public, qui influence le financement de la recherche par son soutien (qui nécessite souvent une traduction plus accessible et en différentes langues). Le secteur commercial et technique recourt au marketing pour se distinguer de la concurrence. Sa communication est souvent propriétaire et peu coopérative. Son public principal est constitué de clients. Les médias d'information assurent le signalement et l'analyse de l'actualité. Leur audience cible est le secteur public. Les organisations gouvernementales établissent des politiques et veillent à leur application par le secteur commercial. Ils visent les entreprises et les secteurs commerciaux, ainsi que le public, par l'éducation et la sensibilisation. Les ONG utilisent l'information pour persuader et remplir leur mission. Leurs audiences incluent le public (membres), les médias et les représentants gouvernementaux par la pression politique.

Alors que les entreprises font appel aux communications environnementales à des fins de différenciation, il importe de parler du marketing. Celui-ci se définit comme une fonction et un ensemble de processus organisationnels visant à créer, communiquer et livrer une valeur aux clients, tout en gérant leur relation avec ces derniers au bénéfice de l'organisation (Boone et al., 2015). Bien qu'il puisse être critiqué pour ses pratiques impliquant l'environnement, le marketing,

peut être pratiqué de manière éthique et avantageuse pour livrer des messages à des audiences au sujet de problèmes environnementaux, notamment pour sensibiliser aux phénomènes de changement de comportement, pour adopter des comportements et consommations plus responsables (Jurin et al., 2010). Il y a ensuite le revers de la médaille, où le marketing vert peut être utilisé pour vendre des produits à des consommateurs soucieux de l'environnement, laissant entendre des caractéristiques environnementales favorables, mais sans garantie quant aux déclarations ou aux visuels (Font et al., 2025). Certaines entreprises s'investissent sérieusement pour réduire les impacts de leurs activités, produits et services, alors que d'autres recourent à l'écoblanchiment (Jurin et al., 2010). L'écoblanchiment est une pratique de communication environnementale qui induit les gens en erreur en les amenant à adopter des croyances excessivement positives à l'égard des pratiques ou des produits environnementaux d'une organisation (Lyon & Montgomery, 2015; Montgomery et al., 2024). C'est une pratique qui peut être mise en œuvre par plusieurs parties prenantes ayant un agenda « vert », comme les entreprises, les gouvernements et même les ONG (Jurin et al., 2010; Montgomery et al., 2024). Bien que principalement pointé du doigt, l'écoblanchiment pourrait ne pas toujours être négatif pour la société ; il pourrait favoriser la concurrence ou inciter des acteurs et des consommateurs polluants à adopter de meilleures pratiques (même imparfaites) (Montgomery et al., 2024).

Les communications environnementales trompeuses dans les actions et les stratégies des entreprises ont pris forme au début des années 60 (Torelli et al., 2020) et depuis les années 2000, la recherche scientifique s'y intéresse de manière exponentielle, publiant 300 articles de nouvelles par année en 2015 et jusqu'à 2000 articles de nouvelles annuels en 2021 (Montgomery et al., 2024). Dans la littérature plus récente, on s'intéresse aux motivations internes des gestionnaires à pratiquer l'écoblanchiment (Su et al., 2026) ainsi qu'aux réactions externes des consommateurs face à ces pratiques trompeuses. L'écoblanchiment n'est pas une réaction uniforme face à une faible performance, mais une stratégie compensatoire complexe, influencée par la position relative de l'entreprise par rapport à ses pairs et par la rigueur des lois nationales (Su et al., 2026). Les entreprises situées en dessous des références auraient davantage tendance à recourir à une communication symbolique pour compenser leur manque de légitimité, tandis que celles au-dessus des standards réduisent ce type de communication puisque leur légitimité est déjà acquise. Les références externes (comme les standards industriels) seraient également plus efficaces que les références internes pour dissuader l'écoblanchiment (Su et al., 2026). Par ailleurs, ce comportement

est plus fréquent dans les contextes de faible réglementation, alors qu'une réglementation stricte le limite. Enfin, les grandes entreprises y recourent généralement moins que les petites, en raison d'une surveillance publique et médiatique plus forte, ainsi que de ressources plus importantes pour améliorer réellement leur performance (Su et al., 2026). Du côté des réactions externes, la communication institutionnelle génère initialement une plus grande confiance et atténue les réactions en cas de crise, l'écoblanchiment lié à des activités opaques ou illégales provoque la méfiance la plus forte et des sanctions sociales sévères, telles que le boycottage (Torelli et al., 2020). Enfin, l'appartenance à un secteur industriel polluant agit comme un amplificateur, renforçant la vigilance du public et la sévérité de ses réactions face à la découverte d'une pratique trompeuse (Torelli et al., 2020).

Ces pratiques ne sont pas réservées à des industries spécifiques, et l'étude du phénomène dans le tourisme est plus approfondie depuis la pandémie, avec un nombre record de publications en 2025 (Onur et al., 2026). L'écoblanchiment observé dans le tourisme dépasse la simple communication et révèle un problème structurel d'alignement entre le discours et les pratiques (Onur et al., 2026). Pour éviter le symbolisme, les organisations doivent intégrer les exigences réglementaires afin de favoriser l'engagement interne, entamer un changement de culture organisationnelle et instaurer la transparence afin de répondre aux attentes des clients. Les auteurs Majeed et Kim (2023) proposent d'ailleurs une matrice sous la Figure 2.1 permettant de classer les hôtels selon la légitimité de leurs déclarations et d'identifier les zones de fraude ou de communication purement symbolique. La matrice présente le niveau de performance environnementale (entre « mauvais » et « bon ») et de communication environnementale (entre « positive » et « silencieuse » ou « *greenwashing* »). Alors que la surcharge d'informations sur la durabilité accroît la perception d'écoblanchiment, il est préférable de privilégier une communication sélective, vérifiée et centrée sur les bénéfices pour les clients afin d'éviter le scepticisme (Font et al., 2017, 2025). La certification est alors présentée comme un signal de crédibilité (Majeed & Kim, 2023; Onur et al., 2026), mais elle ne le détient que sous certaines conditions. Les labels peuvent être inefficaces ou superficiels sans une surveillance rigoureuse (Lyon & Montgomery, 2015) et ils ne sont malheureusement pas à l'abri de l'écoblanchiment (Montgomery et al., 2024). La combinaison d'un système de labellisation audité par des tiers indépendants et de sanctions pour fraude peut aider à limiter le phénomène. Cependant, les écolabels présentent plusieurs limites, notamment, ils peuvent masquer les impacts négatifs (péché du compromis caché), la concurrence entre labels peut entraîner une « course vers

le bas », la diversité des labels peut désorienter les consommateurs, et un contrôle insuffisant permet aux entreprises de vendre des produits non conformes ou de se présenter comme plus écologiques qu'elles ne le sont (Lyon & Montgomery, 2015; Montgomery et al., 2024). Ainsi, les certifications et les écolabels ne garantissent pas une information complète et fiable et peuvent même entraîner une surcharge d'information (Font et al., 2025; Lyon & Montgomery, 2015; Montgomery et al., 2024). Ainsi, ces outils censés limiter l'écoblanchiment peuvent, paradoxalement, en devenir une forme, compromettant la validité des allégations environnementales.

Depuis 2015, notre compréhension de l'écoblanchiment a évolué au-delà de la communication unidirectionnelle à l'égard des consommateurs, via la publicité ou l'emballage, vers une gestion complexe de multiples parties prenantes (gouvernements, chaînes d'approvisionnement) et de multiples intermédiaires d'information susceptibles d'analyser les messages et informations communiqués par les entreprises (Montgomery et al., 2024). La complexité des relations entre les entreprises et leurs fournisseurs au sein des chaînes d'approvisionnement rend l'attribution des responsabilités extrêmement difficile pour le public. Cela crée des zones grises où l'écoblanchiment peut s'épanouir sans que l'acteur responsable soit clairement identifié.

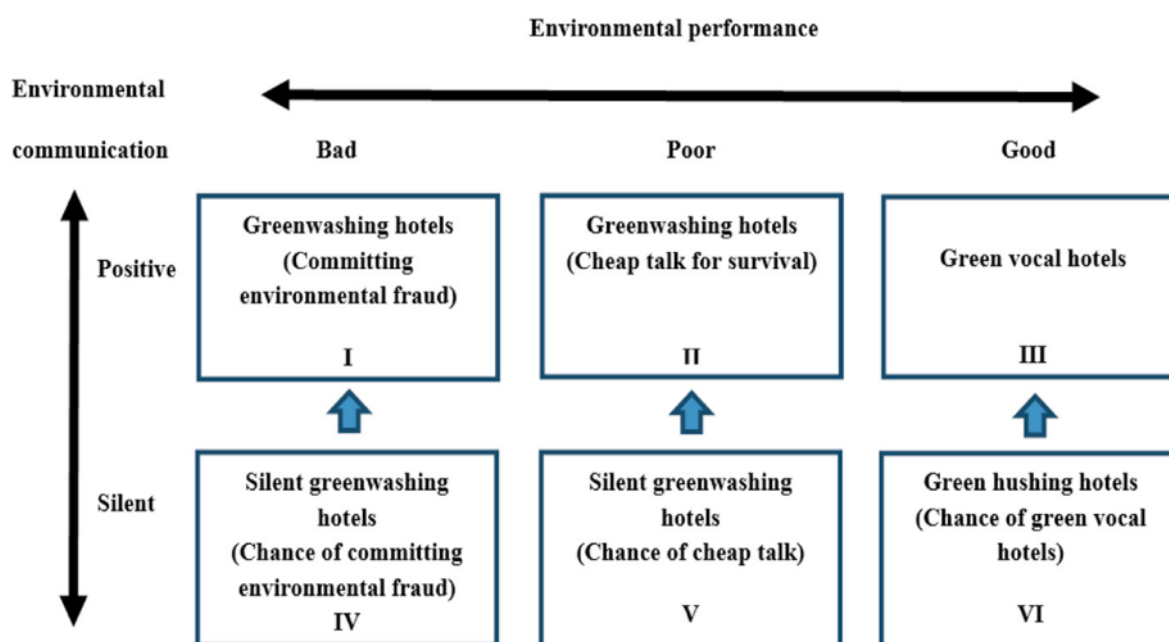


Figure 2.1 Matrice de performance environnementale et de communication environnementale pour les hôtels (Majeed et Kim, 2023)

De plus, elle implique la gestion des intermédiaires en matière de certification et de mesures. Ces intermédiaires d'information (organismes de certification, médias et agences de notation) visent à accroître la transparence, mais sont désormais la cible de manipulations de la part des entreprises (Montgomery et al., 2024). Les outils censés prévenir l'écoblanchiment, comme des certifications, sont utilisés comme couverture symbolique, tels que l'adoption de labels sans réellement réduire les impacts, le manque de transparence sur les impacts réels des produits, la confusion par la prolifération des écolabels, réduisant la distinction entre les standards rigoureux et les allégations vagues, l'affaiblissement des standards par les certifications. Selon Montgomery et al. (2024), la recherche doit passer de la simple constatation du phénomène à la création d'outils concrets pour l'arrêter. Ils proposent des changements dans la version future du modèle de communication en entreprise, tels que des messages ciblés qui se concentrent désormais sur des données et des critères ESG (environnementaux, sociaux et de gouvernance) transparents, et qui introduisent des intermédiaires, comme des firmes d'audit et des agences de notation, pour un contrôle plus rigoureux. En résumé, pour réduire la croissance fulgurante de l'écoblanchiment dans les déclarations, il y a un besoin de plus de contrôle, de transparence et de mesure auxquels cette thèse s'intéresse.

La communication environnementale constitue un champ vaste qui englobe des dimensions comportementales, psychologiques, sociologiques, politiques et organisationnelles. Cette thèse s'y inscrit de manière ciblée (Cox, 2007; Hansen & Cox, 2015). Elle ne traite ni de la perception des consommateurs face aux allégations environnementales, ni des stratégies de mise en marché, ni des canaux de diffusion ou de la conception de messages, ni de l'efficacité communicationnelle des certifications sur les comportements des parties prenantes. Ces sujets sont largement étudiés dans la littérature (Font et al., 2025; Onur et al., 2026). De plus, bien que peu de preuves existent quant aux impacts réels des changements sociaux, comportementaux ou politiques observés dans les communications environnementales (Mose, 2016), ces aspects ne font pas l'objet d'étude. L'intérêt principal est l'amélioration de la rigueur, de la structure et de la comparabilité de l'information environnementale sous-jacente aux écolabels dans l'industrie touristique. Ceci vise à créer les conditions d'une communication environnementale crédible, vérifiable et cohérente sur le plan systémique (Montgomery et al., 2024; Onur et al., 2026).

2.2 Les systèmes complexes comme cadre d'analyse de l'industrie touristique

Pour répondre à ces enjeux et besoins liés aux déclarations environnementales, la théorie des systèmes complexes offre un cadre analytique pertinent pour comprendre les systèmes de production et de consommation, leurs caractéristiques, ainsi que les parties prenantes, notamment leurs chaînes d'approvisionnement et leurs relations avec l'environnement. Pour revenir à l'utilité des communications au sein de différentes disciplines, l'étude des systèmes complexes reflète pleinement cette pluridisciplinarité et permet de comprendre le monde qui nous entoure. Alors que des solutions technocentrées et des mesures politiques sont déployées, les comportements évoluent. Cette vision systémique devient incontournable pour mieux appréhender l'amélioration et l'intégration des mesures et des solutions actuelles et futures. La pensée systémique apporte une meilleure littérature de l'environnement en offrant une meilleure compréhension des interactions complexes des systèmes naturels. Elle permet de comprendre l'organisation des écosystèmes et leurs applications afin de mieux construire une société durable pour les humains. Une compréhension systémique, en tenant compte des interdépendances et de tous les niveaux d'un système, offre un regard plus complet qu'une vision isolée du monde (Jurin et al., 2010). Ensuite, nous soupçonnons que le concept de modularité (abordé dans la section suivante) offre une approche permettant de naviguer dans la complexité des systèmes économiques et de structurer une démarche pour répondre aux enjeux d'écoblanchiment énoncés plus haut. En s'intéressant à l'industrie touristique et à ses enjeux liés à l'écoblanchiment, l'approche des systèmes complexes prend tout son sens. Cette industrie est complexe et chaotique puisqu'elle opère à plusieurs échelles (locales à internationales) et dimensions (spatiales et temporelles), inclut de nombreux acteurs (organisations privées et publiques, résidents, touristes, etc.), interagit avec et dépend de sous-industries, nécessite des ressources (physiques, humaines et intangibles), conçoit des produits hétérogènes et subit des influences et des pressions internes et externes (Johnston & Tyrrell, 2016; Student et al., 2016). Sous cette perspective, les systèmes touristiques peuvent être définis comme :

« des systèmes souples, organisationnels, et parmi ses sous-systèmes, par exemple l'offre, la demande, les intermédiaires, les touristes, l'information, il existe des relations de nature psychologique, sociale, matérielle, financière et énergétique. Ce sont des systèmes orientés vers des objectifs et leur développement dépend des interactions, des activités et des comportements qu'ils entretiennent entre eux. » (Jere Jakulin, 2017, p. 209 [traduction libre])

Plus généralement, un système complexe se définit comme un ensemble d'éléments interdépendants dont le comportement global, qualifié d'émergent ou non simple, ne peut être compris par l'étude isolée de ses composants (Ladyman et al., 2013; Langlois, 2002; Siegenfeld & Bar-Yam, 2020). Sa complexité fluctue selon l'échelle d'observation, car un ordre macroscopique robuste et auto-organisé peut naître d'un niveau microscopique sans nécessiter de contrôle centralisé, tel que celui des dynamiques de jeu entre les joueurs d'une équipe sportive pour former une stratégie d'attaque ou de défense d'une équipe entière ou le déplacement d'un banc de poissons désorganisé vers une coordination (Siegenfeld & Bar-Yam, 2020). Ces systèmes possèdent une mémoire interne via la persistance de leur structure, ainsi qu'une grande adaptabilité à petite échelle, tout en devant arbitrer entre leur efficacité globale à grande échelle, moins flexible, et leur capacité de réponse aux variations imprévues de l'environnement (Ladyman et al., 2013). Pour être efficace, un système doit égaler ou dépasser la complexité de son environnement à toutes les échelles (Siegenfeld & Bar-Yam, 2020). Par exemple, la fabrication de vaccins est une tâche à grande échelle et de faible complexité, tandis que la gestion de cas individuels de patients nécessite une complexité locale élevée pour être efficace. L'organisation hiérarchique constitue la structure fondamentale assurant la stabilité de ces systèmes par l'emboîtement de sous-systèmes (Behdani, 2012; Ladyman et al., 2013; Simon, 1962). Elle rend l'évolution plus efficace grâce à un processus d'essais et d'erreurs sélectif où chaque niveau intermédiaire constitue une base stable sur laquelle les niveaux suivants se construisent (Ladyman et al., 2013). Cette architecture se retrouve tant dans les organismes biologiques que dans les systèmes sociaux comme les entreprises ou les universités (p.ex., le personnel appartenant à un département d'une faculté) (Ladyman et al., 2013), mais également dans les systèmes techniques tels qu'une horloge assemblée par sous-ensembles stables s'emboîtant, où l'interruption du travail d'assemblage ne s'effondre pas comme s'il n'avait pas cette structure hiérarchique et stable par sous-ensembles (Simon, 1962).

Ainsi, la théorie des systèmes sociotechniques complexes repose sur des méthodes d'optimisation conjointe des dimensions sociales et techniques pour concevoir des organisations présentant les propriétés des « systèmes ouverts », capables de mieux composer avec des environnements complexes et dynamiques, ainsi qu'avec les nouvelles technologies et la compétition (Walker et al., 1998). D'autres auteurs estiment plutôt que ces divergences de perspectives entre systèmes techniques (axés sur l'analyse et l'optimisation) et acteurs sociaux (axés sur la stratégie, l'apprentissage et la négociation) sont différentes et en concurrence, et qu'une intégration complète

peut affaiblir les forces de chaque discipline; une coexistence est donc plutôt de mise par rapport à des méthodes d'optimisation (De Bruijn & Herder, 2009).

À titre d'exemple, la chaîne d'approvisionnement est définie comme un système sociotechnique complexe qui intègre un réseau physique d'infrastructures (usines, entrepôts) et un réseau social d'acteurs dont les interdépendances dictent la performance globale (Behdani, 2012). En tant que système adaptatif complexe, elle se caractérise par une structure imbriquée (système de systèmes) où de nombreux agents hétérogènes interagissent localement et adaptent leur comportement selon leurs expériences passées. Au niveau macroscopique, la chaîne fait preuve d'auto-organisation, car son comportement global émerge de décisions décentralisées sans contrôle unique et de coévolution, les changements chez un partenaire (comme une nouvelle technologie) forçant les autres à s'ajuster (Behdani, 2012).

En termes d'application, les principes sociotechniques s'appliquent dans de nombreux domaines, principalement à la conception de nouvelles technologies et à l'ergonomie, afin de mieux intégrer l'aspect humain aux systèmes techniques (Davis et al., 2014). L'utilisation du cadre des systèmes adaptatifs complexes permet de modéliser les interconnexions dynamiques du secteur touristique et de fournir des outils d'alerte précoce essentiels face aux crises (Sahahiri et al., 2023). Le concept est étudié dans le contexte de services hospitaliers d'urgence complexes afin de lier des attributs sociotechniques à des directives de gestion, afin d'identifier des améliorations visant la performance et la sécurité du système (Righi & Saurin, 2015). En mobilisant la théorie des systèmes sociotechniques, les auteurs démontrent que le succès d'une transition vers la servitisation numérique (systèmes de produits-services intelligents, « smart PSS »), où le numérique complète les compétences de servitisation traditionnelles, repose sur l'interaction entre six dimensions internes (objectifs, personnes, culture, technologies, infrastructure, processus) et un environnement externe composé de diverses parties prenantes (Münch et al., 2022). Alors que l'application de la pensée des systèmes sociotechniques contribue à l'amélioration de systèmes, les auteurs Davis et al. (2014) soulignent également que cette perspective élargie est indispensable pour traiter des défis mondiaux complexes, comme la durabilité environnementale, en révélant les déséquilibres des interventions trop centrées sur la technologie au détriment des facteurs humains et organisationnels. Finalement, les auteurs positionnent la pensée sociotechnique comme une science de la conception interdisciplinaire, capable de fournir des solutions systémiques aux problèmes les plus pressants de la société contemporaine.

2.3 La modularité comme levier de durabilité dans les systèmes de services touristiques

Pour gérer la complexité croissante des systèmes de conception et de production, l'ingénierie et les technologies de l'information s'appuient sur des méthodes modulaires. Cette approche consiste à décomposer des systèmes complexes, autrement insolubles, en sous-tâches gérables à l'aide d'unités discrètes et d'interfaces standardisées (Avlonitis & Hsuan, 2017; Langlois, 2002). Une architecture modulaire se définit par les fonctions de ses modules, ses interfaces d'interaction (humaines, flux d'information, normes) et ses règles de conformité et de mesure de la performance (Langlois, 2002). Le principe fondamental consiste à éliminer les interdépendances rigides entre les composantes et les sous-systèmes d'une architecture. Cela permet de combiner des modules aux caractéristiques communes afin de varier les fonctionnalités sans perturber la configuration globale (A. Bask et al., 2011).

Largement éprouvée dans l'industrie automobile (e.g., choix de motorisation, options électriques, couleurs), cette méthode facilite l'organisation des systèmes de production et des chaînes d'approvisionnement et favorise la personnalisation de masse par la standardisation (A. Bask et al., 2010, 2011). Elle génère des bénéfices économiques liés aux coûts, à l'innovation, à la flexibilité d'adaptation et à la facilité de reconfiguration des systèmes (Ethiraj & Levinthal, 2004; Micheli et al., 2019; Pekkarinen & Ulkuniemi, 2008). Bien que l'application de la modularité aux services soit en phase exploratoire, des études s'intéressent à son potentiel de personnalisation, à la standardisation des routines et à la valeur ajoutée (A. Bask et al., 2010; Eissens-van der Laan et al., 2016). La modularité de service s'avère plus complexe que celle des produits en raison de l'immatérialité des résultats et de l'importance des interfaces humaines entre les modules (Brax et al., 2017). La modularité s'aligne avec l'analyse de la modularité multiniveaux et est cohérente lorsque les services sont examinés sous l'angle de la théorie des systèmes, car la modularité est une caractéristique générale des systèmes (Avlonitis & Hsuan, 2017).

Parallèlement, la modularité émerge comme un levier de durabilité. En ingénierie, elle soutient les objectifs de cycle de vie grâce aux concepts 3R ou 6R (recyclage, réutilisation, mise à niveau), notamment via des configurations de produits modulaires pouvant être désassemblés (Gu et al., 1997; Hirose & Mishima, 2019; Sonogo et al., 2018). Des approches d'écoefficiente évaluent désormais l'impact de l'ajout de modules spécifiques sur les systèmes de production (Groetsch et

al., 2021; Spykman et al., 2021). Malgré ce potentiel, l'utilisation de la modularité pour la conception de services plus durables demeure largement inexplorée, particulièrement dans le tourisme (Brax et al., 2017; Eissens-van der Laan et al., 2016). Alors que l'ingénierie l'exploite déjà pour l'écoefficient, la recherche sur les services accuse un retard dans l'intégration de ces objectifs de durabilité.

2.4 Résumé de la revue

À partir de ces constats, pour lutter contre les enjeux d'écoblanchiment des communications environnementales, une plus grande transparence est de mise, notamment le long de la chaîne d'approvisionnement, ainsi que celle des données appuyant les déclarations, et le renforcement du contrôle des processus de notation et de vérification. Les écolabels et certifications, initialement perçus comme des signaux de crédibilité, sont désormais critiqués pour leur potentiel de confusion et de surcharge informationnelle. Ils peuvent, paradoxalement, devenir des outils de couverture symbolique ou des formes d'écoblanchiment s'ils manquent de structure rigoureuse et de données concrètes sur la durabilité. Face à ces enjeux, l'adoption de la théorie des systèmes complexes s'avère indispensable pour appréhender les systèmes de production et de consommation du tourisme. Cette approche systémique permet de passer d'une vision isolée à une compréhension globale des interactions sociotechniques. La modularité émerge comme un levier prometteur pour standardiser la mesure et les écolabels, tout en tenant compte de la complexité du système. En intégrant la modularité, il pourrait être possible de mieux soutenir les objectifs de communication environnementale, en les adaptant aux systèmes complexes qu'elle soutient, afin de contrer l'écoblanchiment.

Cette revue de la littérature met en évidence trois manquements auxquels cette thèse s'intéresse. Premièrement, bien que la littérature sur la communication environnementale reconnaisse le besoin croissant de contrôle, de transparence et de mesure pour lutter contre l'écoblanchiment, les outils existants, notamment les écolabels, manquent de robustesse structurelle nécessaire pour y répondre dans un contexte aussi complexe que celui de l'industrie touristique. Les écolabels, censés être des signaux de crédibilité, peuvent devenir des instruments de couverture symbolique lorsqu'ils reposent sur des critères fragmentés, non vérifiables ou peu comparables. Deuxièmement, la théorie des systèmes complexes appliquée au tourisme révèle que l'industrie repose sur un enchevêtrement de sous-systèmes en interaction, ce qui rend toute approche en silo inadéquate. Troisièmement, si

la modularité s'est imposée comme un levier de durabilité dans l'ingénierie, son application à la production et à la consommation de services touristiques à des fins de durabilité, et plus particulièrement à la structuration d'informations environnementales, notamment à travers des outils de communication environnementale comme les écolabels, demeure largement inexplorée dans la littérature.

CHAPITRE 3 OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Le précédent chapitre d’ancrage de la recherche dans le domaine des communications environnementales identifie un besoin de recherche lié à la problématique de l’écoblanchiment. La littérature souligne des enjeux de contrôle, de transparence et de mesure qui nuisent aux communications environnementales fiables. Sur la base des conclusions de cette revue de la littérature, les objectifs suivants sont proposés. Ensuite, la démarche méthodologique générale visant à répondre aux objectifs de recherche est présentée.

3.1 Objectifs de recherche

3.1.1 Objectif principal

L’objectif principal de cette recherche est d’améliorer la communication environnementale dans l’industrie du tourisme.

3.1.2 Objectifs spécifiques

Trois objectifs spécifiques émanent de cet objectif principal :

1. Identifier les enjeux des écolabels face à la complexité de l’industrie touristique et étudier le potentiel de la modularité pour y répondre.
2. Développer un cadre de modélisation systémique modulaire, multiperspective et multidimensionnel permettant de structurer la mesure de la durabilité de l’industrie touristique.
3. Développer et opérationnaliser une méthode d’application systématique et modulaire dans le but de caractériser des systèmes touristiques.

Le premier objectif spécifique positionne la recherche autour des écolabels comme médium de communication environnementale à améliorer. Cet objectif vise à comprendre les lacunes et les enjeux des écolabels face à la complexité de l’industrie touristique, afin d’étudier comment, ou sous quelle forme, la modularité peut y répondre. Le second objectif permet de composer avec la complexité de l’industrie touristique grâce à une structure modulaire. En utilisant des modules pour représenter la structure hiérarchique de l’industrie (i.e., ses sous-secteurs, produits et services qui la composent, ainsi que les ressources utilisées et consommées par ceux-ci), le cadre permet de modéliser différentes perspectives, telles que celles des prestataires de services, des voyageurs et

des consommateurs. Ce portrait modulaire facilite la représentation des objets à l'étude, de leurs alternatives et, par conséquent, la structuration de la mesure de leurs impacts, pour une meilleure compréhension de leur performance en matière de durabilité. Le troisième et dernier objectif spécifique concerne une méthode d'application systématique et modulaire, développée pour guider la mise en œuvre du cadre de modélisation visé par l'objectif 2. La caractérisation des systèmes touristiques vise à soutenir la définition et la standardisation des modules composant un système modélisé, afin d'améliorer la cohérence et l'interopérabilité de leurs informations relatives à la durabilité.

3.1.3 Méthodologie générale

Cette thèse adopte une démarche méthodologique de recherche en science du design (*Design Science Research*, DSR) (Hevner et al., 2004; Vijay Vaishnavi, 2017). Cette approche repose sur l'idée que la connaissance scientifique peut être produite en concevant et en évaluant des solutions, appelées artefacts, à des problèmes identifiés (Hevner et al., 2004). Un artefact peut prendre la forme de construit, d'un modèle, d'une méthode, par exemple. Il est conçu pour répondre à des problèmes pratiques. Cette approche est cohérente avec les objectifs spécifiques de cette thèse, qui cherche à concevoir et à démontrer une solution pour améliorer les communications environnementales face à la complexité de l'industrie touristique, au manque de standardisation et de mesure des écolabels, en posant comme hypothèse le potentiel de la modularité pour y parvenir.

Selon Vaishnavi et al. (2017), une démarche de DSR suit cinq étapes : (1) la prise de conscience du problème, (2) la suggestion d'une solution, (3) le développement de l'artefact, (4) son évaluation, et (5) la conclusion (ou boucle d'amélioration). Les trois articles de cette thèse s'inscrivent dans cette séquence. L'Article 1 (chapitre 4) couvre les deux premières étapes où il identifie les lacunes des écolabels dans le contexte touristique et propose la modularité comme solution potentielle. L'Article 2 (chapitre 5) correspond à l'étape de développement à partir de fondements théoriques pour l'élaboration d'un cadre conceptuel de modélisation de l'écocoefficience touristique, qui constitue l'artefact central de la thèse, soit un artefact de type « modèle » (Hevner et al., 2004). L'Article 3 (chapitre 6) couvre les étapes d'évaluation et de conclusion en opérationnalisant le cadre sous la forme d'une méthode systématique en quatre étapes, soit un deuxième artefact de type « méthode ». Cette méthode vise à démontrer l'application de deux études de cas dans le contexte du tourisme halieutique au réservoir Gouin. Ces deux applications permettent d'évaluer la

faisabilité et la pertinence pratique de l'artefact, ainsi que la généralisation de la méthode à différentes perspectives modélisées à l'aide du cadre. Ensemble, les trois articles forment ainsi un cycle de DSR complet illustré sous la Figure 3.1, orienté vers la production d'une connaissance à la fois rigoureuse sur le plan théorique, méthodologique et utile sur le plan pratique par la création de résultats empiriques.

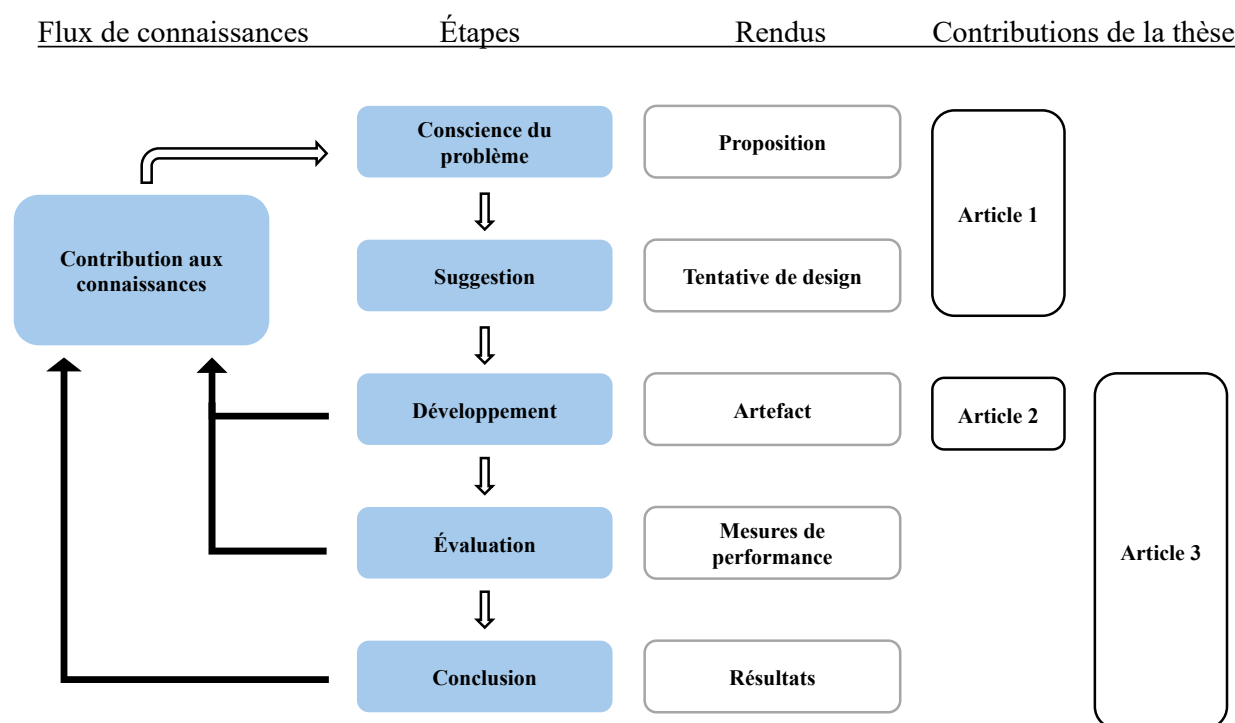


Figure 3.1 Positionnement des trois articles dans le cycle de recherche en science du design

Les sections suivantes précisent, pour chacun des trois articles, la justification et les caractéristiques de l'approche méthodologique retenue, en cohérence avec ce cadre de DSR. La Figure 3.2 détaille la mise en œuvre concrète, en précisant pour chaque article les approches méthodologiques retenues et les sources de données mobilisées pour atteindre et ainsi de contribuer à améliorer les communications environnementales dans l'industrie touristique.

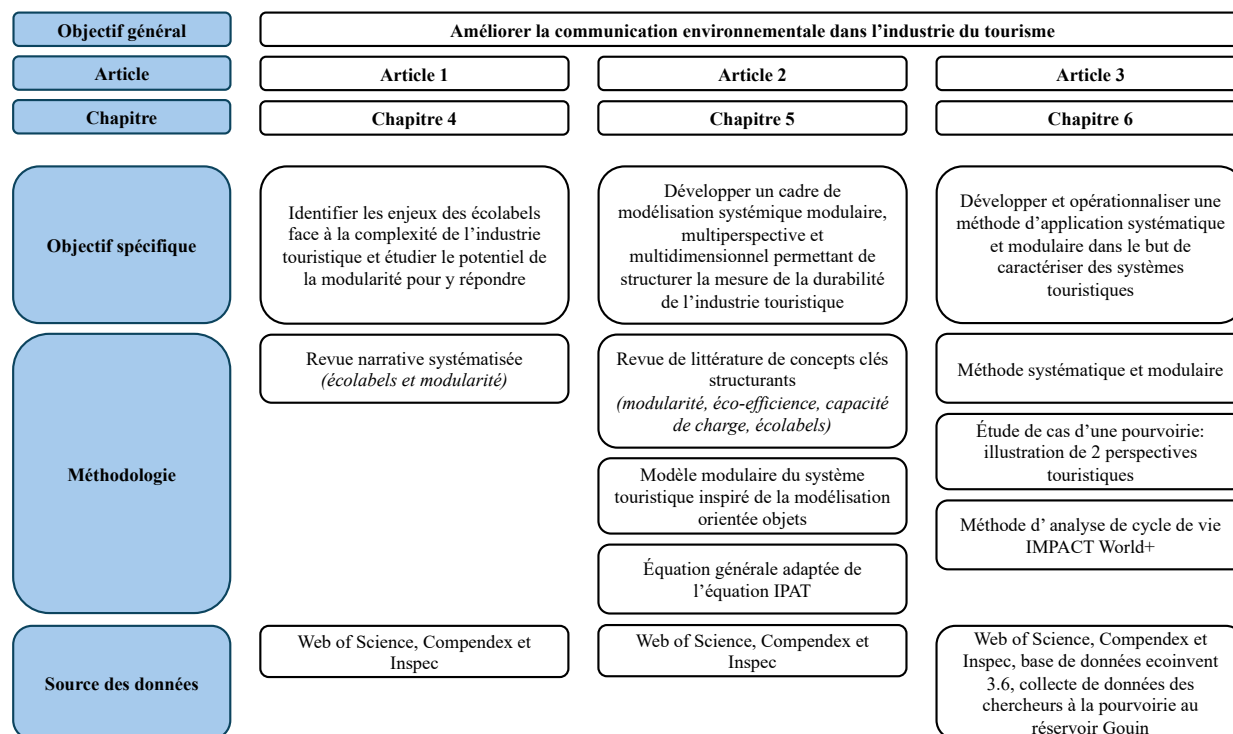


Figure 3.2 Approche méthodologique générale

Compte tenu de la nouveauté du concept de modularité appliqué aux systèmes de services complexes afin d'améliorer la communication environnementale, cet ouvrage s'inscrit au sein de la démarche DSR, dans une posture de recherche exploratoire. Elle se situe au niveau de maturité technologique (NMT) 1, stade où l'on étudie les propriétés de base d'une technologie (www.ised-isde.canada.ca), ce qui est cohérent avec une première démonstration de faisabilité d'un cadre et d'une méthode absente dans la littérature. Pour répondre à chacun des objectifs spécifiques de la thèse, une approche méthodologique distincte a été adoptée. Alors que la revue de la littérature narrative réalisée dans le cadre de l'objectif 1 expose les enjeux critiques et les lacunes des écolabels, elle explore le potentiel de la modularité pour y répondre. Les méthodologies pour les objectifs 2 et 3 permettent de concevoir un outil et une méthode pour structurer la modélisation des différents systèmes touristiques à des fins de durabilité pouvant servir à améliorer les communications environnementales, telles que les écolabels.

Avant de présenter la pertinence des méthodologies de cette thèse, il convient de préciser le choix stratégique du concept de modularité comme pivot de la recherche. Ce concept a été adopté de manière inductive lors de la modélisation du système touristique, à l'étape initiale d'appropriation nécessaire pour en comprendre la composition et les impacts sur la durabilité. Le système touristique étant apparu comme une « boîte noire » complexe, sa décomposition en éléments est devenue essentielle pour en saisir la structure, les composantes et les relations. Étudié en ingénierie et en gestion pour la conception et les stratégies opérationnelles (A. Bask et al., 2010, 2011; Campagnolo & Camuffo, 2010; Langlois, 2002), le concept s'est alors imposé comme doublement utile. Il permet de décomplexifier la modélisation des systèmes touristiques tout en supportant la structure de mesure de leurs impacts. Enfin, il offre une porte d'entrée pour repenser la structure de l'information sur la durabilité à des fins de communication environnementale.

Dans un premier temps, une revue de la littérature narrative systématisée a été réalisée afin d'identifier les enjeux spécifiques des écolabels, en tant qu'outils de communication environnementale, face à la complexité de l'industrie touristique (objectif 1). La revue de littérature narrative permet de résumer et d'approfondir les connaissances sous un angle critique (Bearman et al., 2012; Efrat Efron & Ravid, 2019; Greenhalgh et al., 2018), en exposant les lacunes, les oppositions et les convergences entre les résultats recensés. Cette approche narrative est appropriée pour répondre à des questions complexes (Heyn et al., 2019) ce qui est approprié pour étudier un sujet encore peu étudié. Le caractère systématisé du recensement vise ici à accroître la fiabilité et la reproductibilité des résultats, sans prétendre constituer une revue systématique. La stratégie de recherche a ciblé la structure et la mise en œuvre des écolabels, deux axes que la modularité tend à aborder par l'architecture et les processus (Campagnolo & Camuffo, 2010; Ethiraj & Levinthal, 2004; Langlois, 2002). Une stratégie « boule de neige » visant à inclure des documents issus d'autres domaines pertinents pour l'étude, tels que la modularité et la complexité des systèmes, a été mise en œuvre afin d'enrichir le narratif. Pour plus de détails sur la méthodologie, consultez l'article 1 au CHAPITRE 4. Ensuite, une analyse de contenu thématique a permis d'identifier, par induction, des enjeux généraux (gouvernance, harmonisation et iniquité) liés à la structure et à la mise en œuvre des écolabels, ainsi que des attributs souhaitables pour leur efficacité issus d'écolabels de divers secteurs. Ces constats ont servi de base à la compréhension de la manière dont ces thématiques et attributs se manifestent au sein des écolabels du secteur touristique, compte tenu des caractéristiques complexes de son système. Cette approche a ensuite permis d'identifier

les manifestations modulaires ainsi que les occasions de modularité susceptibles de répondre aux enjeux et aux attributs souhaités par les écolabels, confrontés à la complexité de l'industrie touristique.

Le cadre de modélisation proposé pour répondre à l'objectif 2 s'appuie sur une approche de modélisation systémique, modulaire, multiperspective et multidimensionnelle. Ce cadre est conceptualisé à partir d'une revue de la littérature sur les concepts de la modularité, de l'écoefficient, de la capacité de charge et des écolabels. Ces concepts clés sont structurants pour définir, modéliser et structurer la mesure de l'industrie touristique sous l'angle de l'écoefficient. Le concept d'écolabel comme outil de communication environnementale est présenté comme une application potentielle, susceptible de bénéficier d'une structure modulaire intégrant la mesure, ce à quoi contribue l'objectif 1. Le cadre privilégie la modélisation modulaire du système touristique afin d'en saisir la complexité dans un premier temps. Le concept de modularité est utilisé pour décomposer le système touristique en modules configurables selon diverses perspectives (prestataires, voyageurs, etc.) et leurs systèmes de production et de consommation, pour lesquels la mesure de l'écoefficient est souhaitée. En d'autres mots, la modularité permet de décomposer le système touristique en modules et de les agencer dans de nouvelles configurations et créer différentes instances du système. Cette approche modulaire confère également une dimension évolutive au modèle, approprié pour des systèmes complexes, lui permettant de s'adapter aux besoins futurs de modélisation par l'ajout de modules, tels que de nouveaux indicateurs de performance, des perspectives ou des outils d'évaluation. Une représentation visuelle, inspirée de la modélisation orientée objet, illustre les composantes du modèle du système touristique modulaire. Elle permet d'identifier les éléments étudiés, notamment la perspective adoptée du système modélisé, ses modules la définissant et les relations entre eux, les dimensions concernées (e.g., impacts de durabilité), les choix d'outils d'évaluation des impacts appropriés.

Ensuite, l'adoption de l'écoefficient comme indicateur central permet de quantifier le découplage entre la croissance économique et différents impacts environnementaux, tout en offrant une capacité d'extrapolation à différentes échelles et perspectives (Gössling et al., 2005) (e.g., d'impact par nuitée à plusieurs nuitées d'un forfait touristique). L'écoefficient offre donc une flexibilité d'application permettant de décliner la mesure selon divers indicateurs. Afin de structurer cette mesure en tant qu'indicateur de durabilité, le cadre propose une adaptation de l'équation IPAT à l'industrie touristique sous forme matricielle. Cette forme exprime de manière robuste la

multidimensionnalité de la modélisation du système de production et de consommation touristique, déclinant les hiérarchies du système (perspective donnée), comme une industrie, des forfaits touristiques, des produits et services, jusqu'aux ressources consommées, et reflétant la variété des impacts de durabilité possibles. La structure matricielle intègre donc une forme de modularité dans l'équation générale, pour laquelle des facteurs d'intensité de consommation (affluence) et d'efficience des ressources consommées (technologie) permettent de faire varier les impacts selon les choix de modules (produits et services, ressources consommées ou utilisées, leur type, quantité, fréquence, etc.). L'équation a donc la capacité à s'adapter à différentes échelles, et à prendre en compte les capacités de charge (Font Vivanco et al., 2014; Lonca et al., 2019). Ceci en fait un choix pertinent, bien que cette première itération du cadre se situe dans une gamme d'impacts marginaux constants avec des seuils. Ce choix permet, dans un premier temps, de construire une base sur laquelle d'autres ajouts pourront ultérieurement être apportés au modèle.

Finalement, le développement et l'opérationnalisation d'une méthode d'application systématique et modulaire visant à caractériser des systèmes touristiques (objectif 3) visent à mettre en œuvre le cadre théorique de l'objectif 2 à l'aide de données réelles. Pour y parvenir, une méthode en quatre étapes consécutives est élaborée et appliquée à une étude de cas de tourisme halieutique d'une pourvoirie au Québec. Dans un premier temps, la notion d'approche systématique impose que chaque étape soit abordée dans l'ordre, garantissant une rigueur et une reproductibilité nécessaires à l'intégration de la mesure dans des écolabels fiables ou dans d'autres finalités. Cette méthode s'appuie sur les approches de modularité issues de la gestion opérationnelle et de l'ingénierie qui convergent vers quatre étapes clés (Avlonitis & Hsuan, 2017; A. Bask et al., 2010, 2011; Brax et al., 2017; Micheli et al., 2019; Pekkarinen & Ulkuniemi, 2008). Ces étapes sont 1) la définition du modèle du système, 2) la décomposition du système, 3) l'évaluation et la création de scénarios, et, enfin, 4) l'interprétation et la prise de décision. Les étapes correspondent également à une approche d'amélioration continue, inspirée du cycle de Deming (planification, exécution, vérification et action), où la méthode incite à l'évaluation en boucle des scénarios avant la prise de décision pour un scénario retenu. La méthode se veut suffisamment générale pour accueillir un large éventail de systèmes à modéliser, de méthodes d'évaluation, ainsi que les concepts fondamentaux du cadre (objectif 2), tout en préservant les détails nécessaires pour assurer une rigueur d'application. Ce qui nous amène à présenter les deux premières étapes, au cœur de la contribution visant à caractériser des systèmes touristiques modulaires.

L'étape initiale de la méthode identifie avec précision la perspective à modéliser, les objectifs de durabilité et le périmètre des modules, tout en envisageant le ou les outils d'évaluation qui seront utilisés. Cette planification en amont est importante, car elle influence la décomposition et le choix des unités de mesure nécessaires au passage entre les niveaux hiérarchiques de modélisation. Spykman et al. (2021) appuient d'ailleurs la nécessité de fixer ces choix tôt dans le processus, les résultats d'une modélisation modulaire y étant sensibles. Ces définitions deviennent des caractéristiques intrinsèques aux modules, assurant leur réutilisation cohérente et situant l'architecture au sein d'un vaste ensemble systémique.

La deuxième étape propose une hiérarchie des composantes modulaires du système touristique, adaptée de Voss et Hsuan (2009). Cohérente avec le cadre (objectif 2), cette structure oriente la définition des modules vers une standardisation systémique, garantissant la cohérence entre les niveaux (e.g., de produits et de services à forfaits touristiques) et facilitant l'application de stratégies modulaires identifiées dans la littérature (Eissens-van der Laan et al., 2016). Ces deux étapes mènent à la caractérisation des modules, ce qui favorise leur interopérabilité entre les systèmes et les niveaux modélisés.

La troisième étape concerne la création de scénarios, leur évaluation et leurs ajustements pour une amélioration continue de la performance environnementale, via des stratégies modulaires (e.g., échanger, réutiliser, retirer, ajouter). Pour démontrer l'application du cadre, deux perspectives sont modélisées : un prestataire de services hôteliers (pourvoirie) et un voyageur. À l'aide des données primaires et de la base de données secondaire ecoinvent 3.6, une analyse de cycle de vie est réalisée à l'aide de la méthode IMPACT World+ pour évaluer les impacts des modules. Cet exercice caractérise non seulement des modules issus de différents systèmes (perspectives), mais démontre également leur interopérabilité (réutilisation) entre systèmes, ainsi que l'usage de l'équation générale pour structurer la mesure de l'écocoefficience, tout en appliquant des stratégies de modularité à des scénarios.

CHAPITRE 4 ARTICLE 1 : REPENSER L'ÉCOLABELLISATION DES SYSTÈMES TOURISTIQUES COMPLEXES : UNE REVUE VERS LA MODULARITÉ ET LA MESURE DE LA DURABILITÉ

Sarah Teigeiro, Sophie Bernard et Jean-Marc Frayret

Soumis à la revue de recherche en tourisme *Téoros* le 6 mars 2026, en révision.

4.1 Résumé

L'industrie touristique, composée de sous-industries, propose des centaines d'écolabels distincts à travers le monde. Cette fragmentation structurelle rend impossible la détermination certaine de la durabilité globale d'un forfait touristique. Depuis les années 1970, ces labels se sont multipliés, avec des critères et des contextes variés, sans standardisation. Il convient de s'interroger sur l'efficacité de ces systèmes afin de comparer la durabilité des choix au sein de cette industrie. Peu de recherches remettent en question la structure des écolabels et leur adéquation pour améliorer la comparaison et la mesure des options de production ou de consommation durables le long de chaînes d'approvisionnement complexes. Pour répondre à cette préoccupation, une revue narrative systématisée de la littérature sur les écolabels est menée. Les structures et les applications des systèmes d'écolabels sont étudiées de manière générale et, plus précisément, dans l'industrie touristique, en tant que système complexe. Des thèmes dominants de la littérature sont mobilisés pour évaluer la performance des écolabels face à la complexité du système touristique. Ils sont ensuite discutés en lien avec le concept de modularité, exploré comme approche pour améliorer la structure et le déploiement des écolabels pour améliorer leur efficacité. À partir de ces analyses, un cadre d'écolabel modulaire est proposé comme passerelle pour améliorer la vision systémique des écolabels, à la fois standardisés, flexibles, mesurables à des fins de durabilité et adaptables à divers besoins.

Mots-clés : Durabilité, écolabels, structure modulaire, tourisme, revue.

4.2 Introduction

L'écoétiquetage transmet des informations essentielles sur un produit ou service. Inspirée des standards de sécurité (Iraldo et al., 2020; Rubik et al., 2008), la famille des écolabels porte sur la

conformité à des critères de performance environnementale (Lavallée & Barentsein, 2004) afin de distinguer un produit ou un service. Initialement, les écolabels reposaient sur des autodéclarations marketing au soutien scientifique limité. L'usage de symboles vagues (feuilles vertes, planètes bleues) sans lien avec une performance réelle a favorisé l'écoblanchiment. Leur popularité a incité les décideurs publics à créer ou soutenir des programmes nationaux et supranationaux plus transparents et fiables, s'appuyant sur la science, et à promouvoir une consommation et une production durables (Iraldo et al., 2020), comme Blue Angel en 1978 et l'écolabel européen en 1992.

Aujourd'hui, bien que les autodéclarations persistent, certains écolabels proposent des vérifications indépendantes garantissent la crédibilité des engagements (Mogyoros, 2023; Weston et al., 2018). L'étiquetage environnemental progresse vers des échelles de performance visuelles et claires, comme ÉnerGuide au Canada (www.ressources-naturelles.canada.ca) ou les récents indices de durabilité et du coût environnemental français (Ministères transition écologique aménagement du territoire transports ville et logement, 2025; République française & ADEME, 2025), plus sophistiqués, élaborés en fonction du cycle de vie et intégrant des notions d'économie circulaire.

En 1999, l'Organisation internationale de normalisation (ISO) publie des lignes directrices pour structurer la classification des différents types d'écolabels volontaires en trois segments dans la norme ISO 14020 (ISO 2022) :

- ISO 14024 (Type I) : Écolabels multicritères à seuils, basés sur le cycle de vie et vérifiés par une tierce partie. Dans la pratique, certains sont considérés comme « similaires au type I » lorsqu'ils ne comportent qu'une étape du cycle de vie (Prieto-Sandoval et al., 2016).
- ISO 14021 (Type II) : Autodéclarées sans vérification indépendante.
- ISO 14025 (Type III) : Déclarations environnementales quantifiées de produits (DEP) sans seuils.

Face à une croissance massive, le Global Ecolabelling Network (GEN) répertorie depuis 1994 les programmes fiables de Type I. Ses membres doivent respecter la norme ISO 14024 et se soumettre à une révision par les pairs via le processus GENICES¹, suivi d'une évaluation sur site (Global Ecolabelling Network, 2017).

¹ Global Ecolabelling Network Internationally Coordinated Ecolabelling System

4.2.1 Prolifération et caractérisation

La prolifération des écolabels s'explique par les plaidoyers de la société civile, la quête de différenciation et l'anticipation de la réglementation (Prag et al., 2016). Ces labels reposent sur une interaction multiperspective entre trois piliers : le titulaire de la propriété (initiateur public ou privé du cadre), les utilisateurs (segments de marché visés, soit des entreprises ou des gouvernements), cherchant à légitimiser sa performance, et le destinataire (consommateur ou prescripteur). Ils servent d'aide à la décision, de levier de compétitivité et de moteur d'innovation (Bratt et al., 2011; International Organization for Standardization, 2019; Negi et al., 2020; Prieto-Sandoval et al., 2016; Yokessa & Marette, 2019). Pour les petites entreprises, ils représentent également une occasion de mettre à niveau leurs pratiques et d'accroître leurs moyens de subsistance (Fernandes Martins et al., 2022).

La caractérisation de ces écolabels est vaste et multidimensionnelle (Bratt et al., 2011; Negi et al., 2020) et peut être observée dans le Tableau 4.1. Contrairement aux étiquetages réglementaires², les écolabels sont volontaires. Ils s'organisent selon deux axes : une différenciation horizontale (variété d'attributs : biologiques, équitables, etc.) et une différenciation verticale (niveau d'exigence plus ou moins strict). La différenciation verticale est un enjeu si des standards moins contraignants facilitent l'engagement initial, alors que leur usage inapproprié accroît le risque d'écoblanchiment et fragilise la confiance (Prag et al., 2016). Leur diversité complique également leur lecture, notamment en raison de la multiplicité des enjeux de durabilité, des critères et des étapes du cycle de vie, ainsi que de la technicité du langage et des systèmes de notation (Potts et al., 2014). Alors que certains écolabels sont très spécifiques à des produits, comme Energy Star, pour la consommation d'énergie, d'autres sont plus élaborés, comme la certification Cradle-to-Cradle, avec plusieurs critères. D'autres, comme B Corp, attestent du respect des standards dans les pratiques et les opérations organisationnelles.

Malgré cette apparente complexité, les écolabels sont spécifiques : ils ciblent des catégories de biens ou projets selon des critères précis et des méthodes d'évaluation parfois certifiées par une tierce partie. Toutefois, la difficulté de lecture globale provient de cette fragmentation : il existe désormais un outil pour chaque situation, régi par des normes divergentes. Ce manque de

² Comme c'est le cas de l'écoétiquetage de la consommation énergétique sur le pare-brise des voitures neuve dans l'Union européenne (Union européenne, 2017).

cohérence, d'uniformisation et d'encadrement limite leur potentiel à orienter l'offre et la demande vers des pratiques réellement durables (Minkov et al., 2015). L'industrie connaît une surabondance d'écolabels dont le manque de rigueur scientifique de certains schémas génère un signal flou pour les voyageurs et nuit à la reconnaissance d'engagements authentiques (Buckley, 2002; Font, 2002; Font & Buckley, 2001). Cette abondance encourage la concurrence entre les écolabels et ne garantit pas de meilleurs résultats environnementaux (Fischer & Lyon, 2014).

4.2.2 Retombées incertaines des écolabels

L'abondance des écolabels engendre une incertitude quant à leurs impacts réels. Si la dimension économique est largement documentée, les critères sociaux et éthiques demeurent limités (Bratt et al., 2011; Fernandes Martins et al., 2022; Marx et al., 2022). Les retombées des écolabels demeurent difficiles à généraliser en raison de la concurrence, de l'écoblanchiment et du manque de données consolidées (Ben Youssef & Lahmandi-Ayed, 2008; Christensen et al., 2022; Fernandes Martins et al., 2022; Fischer & Lyon, 2014, 2014; Hamilton & Zilberman, 2006; Lyon & Maxwell, 2011; Marx et al., 2022; Yokessa & Marette, 2019). La majorité des écolabels prescrivent des pratiques plutôt que de mesurer une performance réelle (Fernandes Martins et al., 2022). La comparaison est donc pratiquement impossible, tant pour le Type I (Fernandes Martins et al., 2022; Yokessa & Marette, 2019) que pour le Type III (Del Borghi et al., 2020; Minkov et al., 2015; Roesch et al., 2025). Ce manque d'harmonisation nuit à la comparabilité et à l'interopérabilité des programmes (Del Borghi et al., 2020; Minkov et al., 2015; Roesch et al., 2025).

Pour améliorer l'efficacité et la transparence, la recherche souligne la nécessité d'intégrer des mesures de performance rigoureuses et d'harmoniser les systèmes de labellisation (Dan Vermeer et al., 2010; H. Wang & Shu, 2020; S. Wang & Su, 2022; Yokessa & Marette, 2019), afin de favoriser des choix de production et de consommation plus durables.

Tableau 4.1 Caractéristiques non exhaustives des écolabels

Caractéristiques des écolabels	Descriptif	Exemple d'écolabels (non limités à)
Nature de la propriété (initiateur)	Privée, publique, hybride, organisation à but non lucratif ou association industrielle	Public : Agriculture biologique (AB) en France Privée : Oeko-Tex Standard 100 ONG: avec le label Marine Stewardship Council (MSC) et EPEAT, Blue Angel Association industrielle : SFI – Sustainable Forestry Initiative
Segments de marché visé	Entreprises/ organisations, gouvernements	Gouvernement : ENVISION (projets d'infrastructures) Gouvernements et entreprises (acheteurs) : EPEAT Consommateur final: Fairtrade, EU Ecolabel, Nordic Swan
Destinataires	Consommateurs finaux et les prescripteurs (acheteurs professionnels, entreprises, industries, et donneurs d'ordres publics)	Entreprises: Cradle-to-Cradle Industries : STARS par AASHE pour les Universités
Moyen de communication	Sceau, symbole, logo, certificat, échelle de performance, score, autre	Logo: EU Ecolabel, LEED (Certified, Silver, Gold, Platinum), STARS: 0 à 4+
Mode de gouvernance	Obligatoire (imposée par règlement) ou volontaire	Obligatoire: Label énergétique européen (étiquette A–G) Volontaire: la majorité
Vérification	Monitoring et audits indépendants par une tierce partie ou autoproclamés	Autodéclaration: emballage biodégradable, recyclable Vérification par tierce partie indépendante : MSC EU Ecolabel
Transparence	Niveau de transparence offert par le standard pour les critères, les exigences, le processus de consultation et de certification	Transparent: EU Ecolabel (critères publiés et consultations ouvertes) Opaques: Certains labels propriétaires d'entreprises
Étendue géographique	Régionale, nationale, internationale	Régional : Nordic Swan (pays nordiques) National : Blue Angel (Allemagne), agriculture biologique AB (France), international (FSC, MSC, Fairtrade)
Type de norme	Norme axée sur les pratiques : impose la mise en œuvre de pratiques de gestion améliorées conformément à des critères prédéfinis Norme axée sur les résultats : évalue les effets obtenus, indépendamment des moyens employés pour les atteindre	Axée sur les pratiques : MSC, agriculture biologique AB (France), Axée sur les résultats : ENERGY STAR, TCO Certified, EPEAT

Tableau 4.1 Caractéristiques non exhaustives des écolabels (suite et fin)

Caractéristiques des écolabels	Descriptif	Exemple d'écolabels (non limités à)
Catégories de biens et services ou secteurs d'activité	Produit unique ou secteur multiple, notamment en agriculture, alimentation, électronique, textile, produits d'entretien, services touristiques	Multi secteurs : Ecolabel Europe, Blue Angel Pêche : MSC, Foresterie : FSC, PEFC, Textile : OEKO-TEX, GOTS, Tourisme : Green Key, Blue Flag
Enjeux de durabilité	Un enjeu de durabilité comprend un ou plusieurs critères et plus d'un enjeu est possible: Environnemental : Biodiversité, ressources naturelles, durabilité, réparabilité, pollution, etc. Social : accessibilité, condition de travail, qualité de vie, etc. Économique : différenciation, profits, développement économique, etc. Gouvernance : éthique	Environnemental: EU Ecolabel, Nordic Swan, Blue Angel Social (Fairtrade, SA8000 sur les conditions de travail Économique : BCorp Gouvernance / éthique : BCorp Économie circulaire : Cradle-to-Cradle
	Cycle de vie: Prend en compte l'ensemble du cycle de vie ou un le/les plus impactant(s); extraction, transformation, production, utilisation, fin de vie	Cycle de vie : Écolabel européen, Nordic Swan, EPEAT
	Économie circulaire : réparabilité, contenu réutilisé	
	Autre : Qualité, sécurité, santé, etc.	
Nombre de critères	Un ou plusieurs critères d'une même ou de plusieurs piliers de développement durable ou autre	Peu de critères : Energy Star : énergie) Nombreux critères : LEED, BREEAM, EU écolabel, STARS
Niveaux d'exigences	Sévérité des critères pour une même catégorie de produit ou service	
Ambition des écolabels	Sévérité ou étendu des catégories d'enjeux ou critères entre écolabels similaires	
Système de notation	Binaire (obtention ou non) ou échelonnée (échelle de performance/maturité), avec ou sans pondération (hiérarchique ou non)	
Sélectivité	Très sélectif : Une part des biens les plus performants sur le marché peuvent obtenir la certification et la sévérité des critères s'ajuste pour maintenir une part de marché souhaitée.	Très sélectif : Écolabel européen (10-20%)
	Peu sélectif : Différents niveaux de maturité permettent d'offrir la certification à une plus grande part de marché (niveau de certification).	Peu sélectif : LEED, BREEAM, EPEAT, Cradle-to-Cradle
Complexe	Multi marché, multi enjeux de durabilité, multicritères, cycle de vie complet, système de notation hiérarchique, échelle de performance sont parmi les attributs qui augmentent la complexité seule ou combinée.	BREEM, LEED, STARS, Cradle-to-Cradle, EPEAT

Tableau élaboré par les auteurs (2026) à partir des sources suivantes: (Bratt et al., 2011; Donatello et al., 2020; Fernandes Martins et al., 2022; ISO, 2019; Koerner et al., 2024; Marx et al., 2022; Negi et al., 2020; Potts et al., 2014; Prag et al., 2016; Prieto-Sandoval et al., 2016; Turunen & Halme, 2021; Wang & Su, 2022; Yokessa & Marette, 2019)

4.2.3 Complexité systémique du tourisme

L'application des écolabels au tourisme se heurte à la nature systémique de cette industrie, où les industries qui la composent — l'hébergement, le transport, la restauration, entre autres — interagissent, au sein d'autres systèmes changeants, tels que l'économie, l'environnement et les sociétés, pour produire l'expérience globale du voyage. Ceci correspond à la définition de Simon (1962), selon laquelle un système est un regroupement d'éléments en interaction dont la complexité se mesure par le nombre d'interactions non simples entre ces éléments qui, étant eux-mêmes des systèmes, prennent un autre sens une fois réunis. Cette réalité se traduit par une forte variabilité des produits et services à l'international, selon les destinations, les durées de séjour, les types d'hébergement et les modes de transport.

Selon Langlois (2002), la modularité consiste en une décomposition hiérarchique d'un système complexe en parties indépendantes, mais fortement interdépendantes. Bien que perçus comme standardisés, les forfaits touristiques reposent sur une logique modulaire – la personnalisation des expériences par la coordination (assemblage) entre plusieurs acteurs de produits et de services, issus de diverses industries (gestionnaires de territoires, prestataires de services, voyagistes, agences de voyage, touristes, etc.). Cette complexité systémique rend la définition d'un choix responsable difficile pour les forfaits touristiques, car elle impose d'arbitrer entre différents types de services néfastes ou performants.

Yokessa et Marette (2019), soulignent la nécessité de concevoir des écolabels capables d'englober ces paniers de biens complexes. Cette recherche explore ainsi comment la modularité pourrait offrir aux programmes d'écolabel une structure flexible, apte à mesurer la performance globale d'un système aussi dynamique que l'industrie touristique.

4.2.4 Objectifs et approche de recherche

Cette revue de littérature narrative a pour objectif principal d'identifier les enjeux des écolabels face à la complexité de l'industrie touristique et d'étudier le potentiel de la modularité pour y répondre. Elle s'articule autour de trois questions:

1. Quels enseignements la littérature récente apporte-t-elle sur la structure et la mise en œuvre des écolabels, et quelles thématiques de performance émergent ? (Q1)

2. Comment se manifestent les thématiques de performance dans le secteur touristique, compte tenu de sa complexité systémique ? (Q2)
3. Comment la modularité peut-elle renforcer la performance globale de la structure et de l'application des écolabels touristiques ? (Q3)

Cet ouvrage comprend une méthodologie suivie des résultats sur les écolabels en général, et de l'industrie touristique. Ensuite, une section sur les bénéfices potentiels de la modularité ainsi qu'une discussion sont énoncées avant de conclure.

4.3 Méthodologie

Cette étude s'inscrit dans la catégorie des revues narratives systématisées. Sans prétendre être exhaustive, elle emprunte des caractéristiques de la revue systématique (Framarin & Déry, 2021; Greenhalgh et al., 2018) pour accroître la fiabilité, la reproductibilité et la transparence des données utilisées, en structurant les connaissances autour d'axes analytiques rigoureux. Cette approche permet de résumer et d'approfondir des connaissances tout en soulignant les oppositions, les lacunes et les tendances, ce qui est approprié pour l'étude de questions complexes (Heyn et al., 2019). Les stratégies de recherche ont ciblé la structure et la mise en œuvre des écolabels, deux axes que la modularité tend à aborder par l'architecture et les processus étudiés.

4.3.1 Sources et sélection des informations

La collecte de données de la littérature scientifique a été réalisée via les bases de données Web of Science, Compendex et Inspec à l'aide de critères de sélection présentés dans le Tableau 4.2. Afin de favoriser la transparence et d'offrir à l'audience ciblée par cet article un accès aux références, les sources en libre accès ont été privilégiées. Pour éviter les biais de représentation, ce corpus a été complété par les articles issus du top 10 % des plus cités, garantissant l'inclusion de travaux influents, même sans accès libre. Ces choix ont tout de même permis d'atteindre une saturation des thématiques et des caractéristiques clés des écolabels. Les logiciels en libre accès Zotero (gestion bibliographique) et Notion (conservation des données) ont été utilisés.

En parallèle, un recensement d'écolabels dans le secteur touristique, à l'échelle internationale et locale, a été mené par échantillonnage de convenance. Les programmes d'écolabellisation dotés d'informations publiques sur la nature de la propriété (initiateur), les critères d'enjeux de durabilité pour une certification et la méthode d'évaluation ont été privilégiés.

Tableau 4.2 Critères de sélection

Caractéristiques	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Horizon de temps	2015-2025 (Stratégie 1) 2020-2025 (Stratégie 2 et 3) 2015-2025 (Stratégie 4) 2005-2025 (Stratégie 5)	Études publiées avant 2015 pour la Stratégie 1, 2020 pour les Stratégies 2 et 3, et après 2025 pour l'ensemble
Type de document	Articles scientifiques	Livres, communications de conférences, etc.
Critère de qualité	Revue académiques indexées à comité de lecture	Livres, revues non scientifiques
Langage de publication	Anglais et français	Tous les autres
Accès	Accès libre	Pas en accès libre
Intervention	Critiques générales (Stratégie 1) Tous les étiquettes de l'industrie dans le cadre d'un système d'étiquetage durable (Stratégies 2 et 3 seulement)	Étiquette pour l'identification, comme dans le domaine médical
Concept	Structure et application des étiquettes durables	Études qui portent sur les comportements ou l'attitude envers les écolabels
Unité d'analyse	Tous les types de produits et services, industries et organisations ciblant ses enjeux de durabilité (environnementaux, sociaux et culturels)	Aucun

4.3.2 Stratégie de recherche en cinq phases et sélection des études

La revue porte sur les thèmes de la structure et de la mise en œuvre des écolabels, pour lesquels l'exécution de cinq stratégies de recherche différentes est détaillée au Tableau 4.3; ciblant l'état des connaissances globales, les structures et la mise en œuvre post-COVID-19, ainsi que les écolabels touristiques et les voyagistes. La recherche sur la modularité en gestion et dans le domaine manufacturier (A. Bask et al., 2010; Campagnolo & Camuffo, 2010) étant souvent axée sur l'optimisation des structures et des opérations, les mots-clés « structure » et « mise en œuvre » ont été privilégiés pour cibler les études les plus pertinentes. Également, la dernière stratégie cherche à prendre en considération les enjeux d'écolabels liés aux voyagistes et réceptifs (*tour operators*), en tant qu'acteurs intermédiaires, entre l'offre et la demande du tourisme de masse, créant des forfaits touristiques. Cette démarche inclut une stratégie de « boule de neige » pour les références clés, tout en excluant les études portant sur les comportements des consommateurs.

Tableau 4.3 Stratégies de recherche et mots-clés

Concepts recherchés par stratégie	Mots-clés
Stratégie 1 Revue de littérature sur les écolabels	
Label AND	ecolabel* OR eco-label* OR eco-certification
Synthesis	systematic review* OR meta-review* OR synthesis OR literature review* OR scoping review*
Stratégie 2 Structure des écolabels	
Label AND	ecolabel* OR eco-label* OR eco-certification
Structure NOT	governance OR structure
Behaviour	behaviour OR behavior OR attitude
Stratégie 3 Mise en œuvre des écolabels	
Label AND	ecolabel* OR eco-label* OR eco-certification
Operation NOT	operationaliz* OR implementation* OR application*
Behaviour	behaviour OR behavior OR attitude
Stratégie 4 Écolabels en tourisme	
Label AND	ecolabel* OR eco-label* OR eco-certification
Tourism NOT	hospitality OR tourism
Behaviour	behaviour OR behavior OR attitude
Stratégie 5 Voyageurs	
Label AND	ecolabel* OR eco-label* OR eco-certification
Tourism AND	hospitality OR tourism
Tour operator	Tour operator

Un total de 1 624 documents en libre accès a été identifié. À la suite de l'application des critères d'inclusion, les articles ont été révisés afin de sélectionner les plus pertinents en termes de critères d'intervention, de concept et d'unité d'analyse (n = 49). En sélectionnant les 10 % les plus cités en accès limité, 12 articles sur 76 étaient pertinents. Un ajout de 21 articles a été effectué par effet boule de neige, pour un total de 82 articles retenus (Figure 4.1)..

4.3.3 Traitement et analyse des données

Les données recueillies ont été soumises à une analyse de contenu thématique. Ce processus, centralisé dans l'outil Notion, a permis de transformer un corpus hétérogène en une structure de connaissances organisée selon trois étapes analytiques:

1. Émergence des thèmes (codage) (Q1) : L'identification d'éléments de performance liés à la structure et à la mise en œuvre permettra d'identifier des thèmes et caractéristiques clés pour la performance des écolabels en général.
2. Analyse appliquée au tourisme (Q2) : L'utilisation des thèmes et caractéristiques clés précédentes a servi de grille de lecture pour la littérature sur les écolabels touristiques, afin

d'identifier les obstacles spécifiques à cette industrie liés à la complexité du secteur. Un recensement de 26 écolabels a permis d'illustrer quelques constats.

3. Intégration de la modularité (Q3) : Les caractéristiques de la modularité ont été croisées avec ces résultats afin de démontrer comment l'architecture modulaire répond aux enjeux de performance dans un contexte complexe.

La littérature traite de la mise en œuvre et de la structure des écolabels de manière plus ou moins équivalente (nombre d'articles) (Tableau 4.4) entre les écolabels généraux et touristiques. L'étude spécifique de leur structure reste moins courante en tourisme et est principalement abordée en tandem avec la mise en œuvre. Une tendance également présente dans la littérature générale. Dans la section suivante, trois catégories de thématiques émergentes par induction, soit la gouvernance, l'harmonisation et les iniquités, sont abordées d'un point de vue critique, puis évaluées pour déterminer comment la modularité peut y répondre.

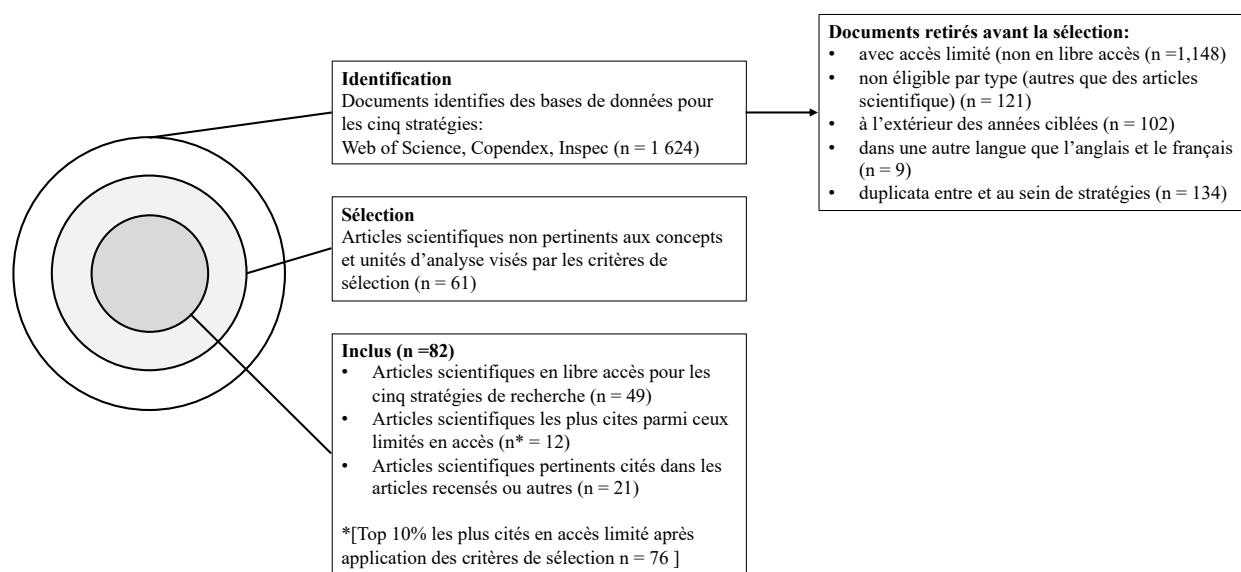


Figure 4.1 Exécution des stratégies de recherche

Tableau 4.4 Synthèse des articles recensés

Concepts	Littérature	Articles
Mise en œuvre	Écolabel touristique	Aransyah et al. (2025); Babakhani et al. (2020); Bernini et al. (2021); Bilbao-Terol & Bilbao-Terol (2020); Blackman et al. (2014); Buckley (2020); Buunk & van der Werf (2019); Capacci et al. (2015); Dias et al. (2024); Elhoushy et al. (2025); Hernandez-Maskivker et al. (2025); Lozano et al. (2016); Nistoreanu et al. (2020); Rodríguez-García et al. (2023); Schwartz et al. (2008); Tiago et al. (2021)
	Autres secteurs	Cadrin & Nakatsuka (2024); Capitano et al. (2022); Christensen et al. (2022); Cirrincione et al. (2020); Fernandes Martins et al. (2022); Flowers et al. (2020); Gonzalez-Torres et al. (2023); Koerner et al. (2024); Mogyoros (2023); Prieto-Sandoval et al. (2016); Prieto-Sandoval et al. (2020); Rainville (2022); Roesch et al. (2025); Sala et al. (2021); Sureeyatanapas et al. (2021); Wang & Su (2022); Yang et al. (2024); Yau et al. (2021); Yokessa & Marette (2019); de Melo et al. (2024)
Structure	Écolabel touristique	Huang (2023); Lafrenz Samuels & Platts (2020); Nistoreanu et al. (2020); Rodríguez-García et al. (2023); Torma & Thøgersen (2024)
	Autres secteurs	Courtat et al. (2025); Donatello et al. (2020); Koerner et al. (2024); Polverini et al. (2021); Prag et al. (2016); Prieto-Sandoval et al. (2020); Roesch et al. (2025); Torma & Thøgersen (2024); Turunen & Halme (2021); Wurster & Ladu (2020); Yang et al. (2024); Yokessa & Marette (2019)
Les deux (Structure et Mise en œuvre)	Écolabel touristique	Babakhani et al. (2020); Duglio & Beltramo (2016); Elhoushy et al. (2025); Esparon et al. (2014); Font (2002); Grydehøj & Kelman (2017); Merino (2022); Sasidharan et al. (2002)
	Autres secteurs	Danilina & Grigoriev (2019); Fernandes Martins et al. (2022); Gonzalez-Torres et al. (2023); Hou et al. (2023); Koerner et al. (2024); Qi & Yu (2025); Roesch et al. (2025); Turunen & Halme (2021); Wurster & Ladu (2020); Yau et al. (2021); Yokessa & Marette (2019)

4.4 Résultats

4.4.1 Émergence des thèmes

L'étape du codage fait émerger des thèmes de la littérature qui sont regroupés ici en trois catégories : la gouvernance et les cadres structuraux; la conception des systèmes; et l'iniquité et l'inégalité de la mise en œuvre. Ces thèmes sont décortiqués ci-après.

La gouvernance et les cadres structuraux des écolabels

L'initiateur de l'écolabel : une source de légitimité, de tension et d'efficacité

L'entité initiatrice d'un écolabel influence directement les incitatifs économiques et les retombées sociales. Alors que les écolabels gérés par l'industrie privilégient souvent la rentabilité, ceux administrés par les gouvernements tendent à générer de meilleurs impacts sociaux, bien qu'ils soient moins adoptés sans caractère obligatoire (Hou et al., 2023). La crédibilité d'un écolabel repose principalement sur la confiance des utilisateurs, son initiateur, la transparence des critères

et l'indépendance de la vérification pour prévenir l'écoblanchiment (Buckley, 2002; Cadrin & Nakatsuka, 2024; Danilina & Grigoriev, 2019; Donatello et al., 2020; Gonzalez-Torres et al., 2023; Hou et al., 2023; Yau et al., 2021). Cependant, la prolifération des écolabels sature le marché et affaiblit leur crédibilité, submergés par la diversité et l'hétérogénéité des écolabels (Mogyoros, 2023; Prieto-Sandoval et al., 2016; Yokessa & Marette, 2019). Cette multiplicité génère une dynamique paradoxale où elle peut stimuler une amélioration continue par la compétition ou, à l'inverse, mener à un abaissement des critères pour assurer la survie commerciale des écolabels (Font & Buckley, 2001; Mogyoros, 2023).

Intervention publique et le dosage des politiques

La littérature récente présente certains écolabels comme faisant partie d'un écosystème politique plus vaste (Christensen et al., 2022; Danilina & Grigoriev, 2019; Gonzalez-Torres et al., 2023; Hou et al., 2023; Koerner et al., 2024; Kumar kar & Harichandan, 2022; Polverini et al., 2021; Yau et al., 2021; Yokessa & Marette, 2019). Ils opèrent principalement comme outils de positionnement de marché et corrigent les externalités environnementales en complément des mesures fiscales, réglementaires et de sensibilisation (Furumo et al., 2020; Gonzalez-Torres et al., 2023).

Les écolabels volontaires, qu'ils soient gouvernementaux ou non, sont rarement efficaces isolément pour répondre aux enjeux de durabilité (Danilina & Grigoriev, 2019; Gonzalez-Torres et al., 2023; Hou et al., 2023; Polverini et al., 2021; Yokessa & Marette, 2019). Un dosage équilibré entre les écolabels et les outils réglementaires est souvent plus bénéfique socialement (Yokessa & Marette, 2019) et évite des déséquilibres, comme une fiscalité contre-productive (Hou et al., 2023), ou des standards minimaux sans mesures de soutien à la consommation plus durable (Gonzalez-Torres et al., 2023). L'UE illustre ce succès visant l'offre et la demande : l'étiquetage environnemental et la Directive sur l'écoconception ont permis d'économiser 9 % d'énergie en 2020 (Gonzalez-Torres et al., 2023). Si l'intervention gouvernementale maximise le bien-être social et stimule l'innovation et la compétitivité des organisations (Gonzalez-Torres et al., 2023; Hou et al., 2023; Polverini et al., 2021), elle peut s'avérer inadaptée selon le contexte (Capitano et al., 2022; Flowers et al., 2020; Hamilton & Zilberman, 2006). L'adaptation dynamique des écolabels et des normes, par un encadrement collaboratif, est essentielle pour favoriser l'innovation « verte » (Prieto-Sandoval et al., 2016; Wurster & Ladu, 2020). Cette flexibilité accroît l'efficacité et l'innovation des entreprises dans les marchés incertains (Wurster & Ladu, 2020), une tendance observée dans des pêcheries

(Cadrin & Nakatsuka, 2024; Yang et al., 2024), l'automobile (Sureeyatanapas et al., 2021) et le bâtiment (Flowers et al., 2020). Bien qu'une révision régulière soit recommandée pour suivre l'évolution technologique (Buckley, 2002; Cadrin & Nakatsuka, 2024; Yang et al., 2024), les écolabels peuvent instaurer des iniquités et des barrières au commerce international. La diversité d'instruments politiques auxquels contribuent les écolabels, leurs effets et les besoins de crédibilité et de flexibilité soulignent la complexité systémique, où les interactions entre acteurs peuvent produire des effets imprévisibles (voir la section sur les effets de rétroaction systémique non intentionnels).

Volontaire vs obligatoire: l'arbitrage en matière de bien-être social

Sur le plan théorique de la théorie des jeux, le modèle Stackelberg suggère que l'écocertification obligatoire dépasse l'écoétiquetage volontaire comme moyen de maximiser le bien-être social, surtout si les consommateurs ignorent les menaces écologiques (Danilina & Grigoriev, 2019). Ce succès dépend de l'hétérogénéité des consommateurs (leur volonté de payer) et de leur perception de la sévérité du programme (si élevée, plus sérieux à prendre en compte les impacts).

À l'inverse, dans le cadre de son programme *New Approach*, jugé plus rapide et plus économique que des exigences obligatoires, l'UE privilégie des accords avec l'industrie (Prag et al., 2016). Si les programmes gouvernementaux obligatoires réduisent la multiplication des écolabels, ils se limitent généralement à des critères spécifiques comme l'efficacité énergétique (Prag et al., 2016). De plus, l'efficacité de la surveillance des gouvernements demeure critiquée (Gonzalez-Torres et al., 2023; Mogyoros, 2023).

L'arbitrage repose sur un compromis entre l'écocertification obligatoire, plus coûteuse à administrer, mais plus crédible, et l'écolabel volontaire, suffisamment abordable, rigoureux et contrôlé pour justifier la prime de prix (Yokessa & Marette, 2019). Toutefois, les exigences élevées des écolabels volontaires ne garantissent pas des gains économiques (Hou et al., 2023). D'ailleurs, de manière générale, les bénéfices du volontariat ne font pas l'unanimité, les études affichant des résultats souvent neutres ou incertains (Fernandes Martins et al., 2022).

Le lien ambigu entre réglementations, normes, l'autorégulation, la compétitivité et l'innovation

Le rôle des politiques dans la stimulation de l'innovation et de la compétitivité fait l'objet de débats académiques opposant les instruments réglementaires obligatoires à l'autorégulation par les normes volontaires. Les politiques obligatoires de durabilité seraient plus efficaces pour stimuler

l'innovation que les écolabels volontaires, jugés moins incitatifs (Polverini et al., 2021). Ces instruments réglementaires permettent d'orienter les entreprises vers des objectifs de performance à long terme, comme la circularité, en ciblant des points chauds technologiques. À l'international, un encadrement légal clair des écolabels est essentiel pour préserver la compétitivité face aux barrières « vertes » du commerce mondial (Qi & Yu, 2025).

À l'inverse, le contexte de marché et sectoriel aurait une influence sur l'efficacité des politiques (Wurster & Ladu, 2020). Dans des environnements incertains, la réglementation peut nuire à l'innovation, tandis que les normes volontaires offrent une flexibilité bénéfique. L'exemple de la certification LEED illustre une « course au sommet » où la concurrence incite les entreprises à se différencier par l'excellence environnementale (Flowers et al., 2020). Dans ce contexte, l'industrie américaine du bâtiment, relativement stable, mais à forte valeur ajoutée, bénéficie d'une situation où la concurrence volontaire favorise à la fois l'innovation et l'amélioration des performances environnementales. Ainsi, ces résultats suggèrent que l'efficacité des politiques et des écolabels environnementaux n'est pas universelle, mais contingente au contexte.

Enfin, un décalage temporel persiste dans la mise en œuvre des politiques publiques (Gonzalez-Torres et al., 2023). Les écolabels s'inscrivent dans un cycle continu d'écoinnovation, reposant sur l'interaction dynamique entre les consommateurs, les organisations et les pouvoirs publics (Prieto-Sandoval et al., 2016). Une démarche hybride, entre l'approche descendante (top-down) de la réglementation et l'approche ascendante (bottom-up), implique des acteurs du terrain plus proches des réalités de faisabilité. Bien que des initiatives comme le programme *New Approach* de l'UE aient visé la flexibilité, la lenteur des processus rend les exigences parfois peu ambitieuses face aux évolutions technologiques. Les écolabels s'inscrivent dans un cycle continu d'écoinnovation, reposant sur l'interaction dynamique entre les consommateurs, les organisations et les pouvoirs publics (Prieto-Sandoval et al., 2016).

Pour favoriser l'évolution des écolabels, comme l'intégration de l'économie circulaire et les innovations découlant de celle-ci, les programmes d'écolabels doivent gagner en agilité (Gonzalez-Torres et al., 2023; Meis-Harris et al., 2021). Les interactions entre réglementation descendante et autorégulation ascendante, ajustées aux conditions spécifiques des marchés et des secteurs, montrent que la capacité des écolabels à stimuler l'innovation et la compétitivité est elle-même complexe et requiert un équilibre entre une approche normative et une flexibilité opérationnelle.

Crédibilité des écolabels

La crédibilité des écolabels est un défi lié à la coexistence d'initiatives fiables et de pratiques d'écoblanchiment (*greenwashing*) (van der Ven, 2019). Cette fiabilité dépend de la normalisation des procédures (telles que les normes ISO) et de la vérification indépendante par une tierce partie (Donatello et al., 2020). Si un initiateur public ou une ONG d'un écolabel constitue un signal de crédibilité par rapport à l'industrie (Hou et al., 2023), la rigueur procédurale dépend aussi du public ciblé : les organismes d'écolabellisation (normalisateurs) visant de grandes parts de marché s'imposent une discipline accrue pour protéger leur réputation et leur légitimité (van der Ven, 2019). Ainsi une gouvernance transnationale des écolabels favorise l'adhésion aux meilleures pratiques.

Pour limiter l'écoblanchiment, une séparation des « pouvoirs » entre cinq rôles clés distingue les écolabels de type I et III des autodéclarations de type II, ces dernières étant structurellement plus vulnérables en l'absence de vérification indépendante. Un programme robuste implique un initiateur qui mandate un normalisateur fixant les standards, un vérificateur indépendant (auditeur), pour l'évaluation, et un organisme certificateur pour la validation officielle. Des accréditeurs peuvent également « auditer les auditeurs », bien que ce processus soit onéreux (Font, 2002). Toutefois, la fixation du niveau d'exigence demeure un arbitrage (Font, 2002). Des critères trop stricts découragent la participation, tandis que des critères trop souples nuisent à la valeur de durabilité et les rendent peu informatifs (Danilina & Grigoriev, 2019; Lyon & Montgomery, 2015). Ce délicat équilibre souligne que la crédibilité ne repose pas uniquement sur la structure du label, mais aussi sur une gouvernance stratégique capable de maintenir des exigences élevées malgré les pressions du marché.

Conception des systèmes d'écolabels: fragmentation, harmonisation et faisabilité

Conception d'un écolabel focal : tentatives d'harmonisation

La littérature scientifique souligne la nécessité d'harmoniser les écolabels pour contrer leur prolifération, source d'inefficacité et de confusion chez les utilisateurs (Prag et al., 2016; Prieto-Sandoval et al., 2020; Torma & Thøgersen, 2024; Turunen & Halme, 2021; Yang et al., 2024; Yokessa & Marette, 2019). L'écolabel de l'UE a été conçu pour promouvoir les produits à faible empreinte tout en limitant la duplication des écolabels existants, tels que ceux des secteurs alimentaire et médical, en visant d'autres secteurs nécessitant un référentiel fiable (European

Commission, n/a; Prieto-Sandoval et al., 2020). Cependant, il reste en concurrence avec de nombreux écolabels régionaux, ce qui perpétue un paysage fragmenté (Prieto-Sandoval et al., 2020).

Avec le temps, la concurrence entre les écolabels tend à l'uniformisation progressive des normes (Prag et al., 2016). Par exemple, le secteur de la pêche a évolué d'approches fragmentées et nationales vers des approches collaboratives et harmonisées à l'international avec de nombreux acteurs. Il s'est élargi à des enjeux systémiques comme la biodiversité et la conservation, tout en demeurant marqué par des disparités contextuelles entre les pays (Yang et al., 2024). Pour réduire la confusion, des scénarios d'harmonisation et de coordination internationales existent, notamment la reconnaissance mutuelle, unilatérale et d'équivalence entre écolabels et des méta-initiatives comme des plateformes de benchmarking de normes (Lavallée & Barentsein, 2004; Prag et al., 2016). Également, l'utilisation commune d'une méthodologie (l'ACV et ISO 14048), l'accréditation internationale GEN et la création de double écolabels transnationaux (label des pays nordiques ou européens) pour la reconnaissance au-delà des frontières (Lavallée & Barentsein, 2004; Prag et al., 2016). Cette coopération et ce consensus scientifique sont essentiels pour éliminer les incohérences entre les déclarations environnementales d'une même industrie et des portées géographiques distinctes (Minkov et al., 2015). Bien que la concurrence pousse à une uniformisation naturelle (Prag et al., 2016; Yang et al., 2024), le défi reste d'atteindre une cohérence globale sans niveler les standards vers le bas.

Dans cette perspective, l'approche du « label parapluie » (métaécolabel) serait favorablement accueillie par les consommateurs (Torma & Thøgersen, 2024), mais elle révèle une tension entre la convergence des écolabels et le maintien d'exigences élevées. Les intérêts de l'industrie, des consommateurs et de l'environnement sont difficilement conciliables et ne favorisent pas l'ensemble des parties prenantes (Prag et al., 2016) : si les déclarations de type III, plus exigeantes, favorisent la performance environnementale, le type I (comme celui de l'UE) est socialement préférable (Ghazzai & Lahmandi-Ayed, 2022). En cas de coopération, l'industrie tend à privilégier l'environnement au détriment de l'intérêt direct des consommateurs (Claude & Zaccour, 2009; Ghazzai & Lahmandi-Ayed, 2022). Cette dynamique de réputation et de qualité est également un moteur d'investissement pour maintenir des prix premium (Claude & Zaccour, 2009). Cette divergence rend la définition d'un niveau d'exigence commun intrinsèquement conflictuelle. Les efforts d'uniformisation des écolabels afin de réduire la fragmentation pour renforcer la

compréhension des consommateurs nécessitent des consensus entre acteurs, où l'équilibre entre la convergence des standards et le maintien d'exigences élevées constitue un défi.

Conception technique des écolabels : arbitrage entre exigence, faisabilité et complexité

La transition du contenant au contenu des écolabels révèle des enjeux de conception. Le choix des critères repose sur un arbitrage constant entre exigence et faisabilité : des standards trop stricts découragent l'adhésion des organisations et limitent la reconnaissance du public, tandis que des critères faibles compromettent l'alignement avec les meilleures pratiques de durabilité (Koerner et al., 2024). L'objectif est ainsi de favoriser une adoption suffisamment large pour diffuser des pratiques responsables, sans compromettre la crédibilité environnementale des écolabels.

Pour les PME, la complexité liée au nombre de critères limite l'adhésion. Réduire ces critères à ceux sur lesquels elles ont une réelle capacité d'action, tout en assouplissant les systèmes de notation, améliorerait l'accessibilité (Donatello et al., 2020). Toutefois, cet abaissement des exigences pourrait nuire à la réputation de l'écolabel, ce qui souligne la nécessité d'une adaptation spécifique. Or, nous notons un besoin d'adaptation des critères afin de soutenir l'accès des PME, et d'autres enjeux d'iniquité sont abordés plus loin. Sur le plan de la performance, il est rare d'exceller simultanément sur l'ensemble des exigences des dimensions de durabilité (Marx et al., 2022). Les écolabels n'abordent pas ces exigences de manière équivalente, et leur efficacité dépend du contexte (Marx et al., 2022). De plus, l'adhésion des utilisateurs dépend de leur perception : une expérimentation (Muller et al., 2019) démontre que les codes couleur simples (type feu de circulation) favorisent l'adhésion s'ils sont appliqués à des critères corrélés aux mêmes catégories d'impact et à des coureurs similaires. À l'inverse, les données numériques ou non corrélées augmentent l'effort cognitif et de compromis et réduisent l'adhésion. Un affichage clair et uniformisé est donc essentiel et doit prendre en compte les comportements (Muller et al., 2019). Les choix structurels (catégorisation, hiérarchisation, notation) sont déterminants du succès. Une étude sur le Marine Stewardship Council (MSC) montre que, dans les systèmes binaires et hiérarchiques, modifier les pondérations ou les métriques d'agrégation peut entraîner l'échec de la certification (Koerner et al., 2024). Notamment lorsque la pondération des niveaux supérieurs augmente ou que des ajustements à la base de la structure tirent la performance vers le bas. Ensuite, segmenter une catégorie de produits en sous-groupes peut biaiser la notation finale si des produits polluants sont uniquement comparés entre eux (Courtat et al., 2025). Finalement, bien que les

systèmes à niveaux du type Bronze, Argent et Or soient prévus pour être inclusifs, ils peuvent entraîner des risques de « parasitisme » (*free-riding*) (Mzembe et al., 2020). Les entreprises au niveau Bronze bénéficient de la même réputation sans fournir le même niveau d'effort. L'équilibre entre le niveau d'exigence et la faisabilité, la communication du contenu, les choix structurels exposent la complexité technique inhérente aux écolabels.

Choix de méthodes d'évaluation : tensions entre rigueur scientifique et faisabilité opérationnelle

La crédibilité des écolabels repose sur un arbitrage constant entre robustesse scientifique et faisabilité opérationnelle. D'une part, la simplification des méthodes pour encourager l'adoption des organisations comporte des risques. Quatre catégories de défis résultent de cet arbitrage (Roesch et al., 2025), soit l'agrégation du score (subjectivité des pondérations), la simplification (sélection des étapes du cycle de vie), le préjugé (absence de mesure réelle) et la subjectivité (influence des parties prenantes). Ces limites compromettent la rigueur de l'évaluation (Courtat et al., 2025; Roesch et al., 2025) et risquent d'entraîner un déplacement des problèmes ou un transfert d'impact environnemental plutôt qu'une réduction réelle (Qi & Yu, 2025). D'autre part, les méthodologies rigoureuses imposent un fardeau technique qui freine l'accès des PME aux ressources limitées (Capitano et al., 2022; Cirrincione et al., 2020; de Melo et al., 2024). Ce paradoxe souligne que la précision des outils, bien que nécessaire, limite l'inclusivité économique et la portée globale de la certification (Roesch et al., 2025). En somme, le choix d'une méthode demeure une tension entre la précision indispensable à la science et la viabilité requise par l'industrie (Roesch et al., 2025; Turunen & Halme, 2021).

Iniquité et inégalité dans la mise en œuvre des écolabels

Cette section aborde le terme d'iniquité pour désigner des positions défavorables ou des injustices liées à l'adoption d'écolabels par les entreprises du Sud ou les petites entreprises. Alors que les inégalités forment des différences pour des contextes égaux.

Iniquités internationales et entre entreprises

Les écolabels volontaires peuvent accentuer les iniquités nord-sud (Lavallée & Barentsein, 2004). Bien que les écolabels volontaires soient perçus comme plus contraignants là où la réglementation est plus laxiste, en raison d'un décalage (Marx et al., 2022), leur succès dépend d'un environnement institutionnel favorable (Negi et al., 2020). Le manque de ressources et d'incitatifs compromet la certification des petites entreprises du Sud (Sureeyatanapas et al., 2021), ainsi que la vérification

par des tiers qui génère des iniquités systémiques (Turunen & Halme, 2021). Ces différences structurelles et d'incitation créent des iniquités de départ qui amplifient le déséquilibre nord-sud.

L'exclusion technique découle de l'inadéquation des écolabels, qui exigent des infrastructures, des connaissances spécialisées et une mobilisation constante de la chaîne d'approvisionnement, dépassant les ressources disponibles, notamment pour la mobilisation de la chaîne d'approvisionnement, la production régulière de données ou l'utilisation de technologies ou de méthodes (Capitano et al., 2022; de Melo et al., 2024; Sureeyatanapas et al., 2021; Yang et al., 2024). Parallèlement, l'exclusion économique résulte des coûts prohibitifs liés à l'obtention et au maintien des certifications, parfois inadaptés à la réalité des entreprises à structures simples, comme des investissements dans des technologies inadaptées, sans garantie de rentabilité (de Melo et al., 2024). Ce phénomène s'accroît dans les pays en développement par manque de subventions et une priorité accordée aux prix compétitifs (Sureeyatanapas et al., 2021; Yau et al., 2021).

Les écolabels privés volontaires privilégient souvent les attentes du marché au détriment des petits producteurs, imposant des normes plus strictes que les normes publiques, notamment observées dans les pays du Sud (Glasbergen, 2018; Ponte, 2022). Les grandes entreprises utilisent les écolabels comme des outils marketing et de captation de valeur ajoutée, transférant ainsi la responsabilité et le coût de la transition écologique sur leurs petits fournisseurs de long de leur chaîne d'approvisionnement (Ponte, 2022). Pour ces derniers, la mise en conformité n'est pas un levier de croissance, mais une condition de survie imposée par leur position subalterne au sein de la chaîne d'approvisionnement. La marginalisation des besoins des petits producteurs entraîne des impacts socioéconomiques inégaux selon le contexte (Ponte, 2022). Pour y remédier, il est nécessaire d'harmoniser les standards et de favoriser l'autonomisation économique des acteurs locaux (Fernandes Martins et al., 2022).

Barrières commerciales

À l'échelle mondiale, l'efficacité des écolabels est freinée par un déséquilibre de gouvernance et un manque d'harmonisation (Gonzalez-Torres et al., 2023; Qi & Yu, 2025; Yang et al., 2024). Ce manque d'harmonisation nuit à la compétitivité des firmes locales régulées face à une concurrence internationale moins contrainte (Gonzalez-Torres et al., 2023). En favorisant le dumping environnemental vers les marchés peu régulés, cette situation souligne l'urgence de normes mondiales minimales (Gonzalez-Torres et al., 2023). Face à ce problème, des mécanismes comme

le MACF européen imposent désormais aux commerçants étrangers les mêmes exigences carbone qu'aux entreprises locales, faute de quoi ils seront taxés (Qi & Yu, 2025). En réaction, des outils de « mise à niveau » comme le système chinois (CLS) émergent pour contourner ces barrières vertes et préserver la compétitivité (Qi & Yu, 2025).

L'écolabel constitue également un levier de marketing et de compétitivité facilitant l'accès aux marchés étrangers (Prieto-Sandoval et al., 2020). Bien que son caractère volontaire soit théoriquement compatible avec les règles du commerce international, cette vision est contestée (Lavallée & Barentsein, 2004). Les écolabels peuvent être perçus comme un obstacle technique sous la forme de barrières commerciales non tarifaires, ainsi que comme un écoprotectionnisme, ce qui favoriserait les produits nationaux sur le marché intérieur (Lavallée & Barentsein, 2004).

Effets de rétroaction systémique non intentionnels

L'inadaptation des écolabels génère des rétroactions systémiques, notamment pour les PME et les pays en développement (Fernandes Martins et al., 2022). Le paradoxe de Jevons illustre comment les gains de productivité issus de la certification rentabilisent les terres marginales, incitant les producteurs à étendre les surfaces cultivées pour accroître leurs profits (Fernandes Martins et al., 2022; Negi et al., 2020). Parallèlement, l'obligation de verser des salaires plus élevés pour satisfaire aux critères sociaux peut inciter les producteurs à réduire l'emploi pour compenser des rendements plus faibles (Furumo et al., 2020). L'écolabellisation induit également un effet rebond comportemental indirect, car elle prospère dans les économies riches où les consommateurs privilégiés maintiennent des empreintes carbone, hydrique et matérielle élevées malgré leur préférence pour le « vert » (Barkemeyer et al., 2023). D'un point de vue technique, l'affichage de valeurs relatives (ex. : efficacité par litre) favorise les gros appareils et masque leur impact absolu supérieur (Gonzalez-Torres et al., 2023). Des critères d'écolabels peu sélectifs, qui ne visent pas l'excellence (soit 5 % à 30 % du marché), n'incitent pas à l'innovation technologique et risquent de provoquer un effet de « débordement » (*spillover*) négatif, où la production totale peut augmenter au détriment de la part des produits réellement durables (Wurster & Ladu, 2020). Enfin, la prolifération des écolabels sature l'information et inhibe l'action du consommateur, soit l'effet contraire initialement espéré (Yokessa & Marette, 2019).

Attributs de performance souhaitables des écolabels

Les thèmes émergents de la littérature identifiés jusqu'à présent mettent en lumière des attributs de performance souhaitables des écolabels énoncés dans le Tableau 4.5, en ce qui a trait à leur structure et leur mise en œuvre. La littérature identifie qu'une gouvernance crédible repose sur la légitimité des initiateurs, l'indépendance des processus, la complémentarité avec les instruments politiques et une flexibilité d'application, afin d'optimiser la durabilité, l'innovation et la compétitivité, ainsi que de limiter les rétroactions non intentionnelles. Parallèlement, une conception harmonisée et scientifiquement robuste est essentielle pour assurer la cohérence des évaluations et réduire la confusion informationnelle. Enfin, l'accessibilité des écolabels constitue un levier d'équité pour favoriser l'inclusion des PME et des pays en développement. Ces thématiques et attributs sont repris dans la section suivante pour étudier comment les écolabels touristiques performant, compte tenu de la complexité du système touristique. Afin d'illustrer les constats, des écolabels recensés sont présentés.

4.4.2 Analyse appliquée au tourisme

Gouvernance et limites systémiques des écolabels en tourisme

Depuis les années 1990, la recherche dénonce la fragmentation des écolabels, inaptes à saisir la complexité systémique du tourisme (Buckley, 2002; Elhoushy et al., 2025; Font, 2002). Contrairement à d'autres secteurs évoluant vers la standardisation, le manque de collaboration entre gouvernements et organismes de certification favorise une prolifération désordonnée des écolabels (Elhoushy et al., 2025).

Tableau 4.5 Attributs de performance souhaitable des écolabels (réalisation originale des auteurs, 2026)

Principaux thèmes émergents	Attributs de performance souhaitables	Description
Gouvernance et cadres structuraux	Crédibilité	Lutte contre l'écoblanchiment via l'indépendance des processus de vérification, l'arbitrage entre rigueur et faisabilité et des initiateurs légitimes.
	Intégré au système d'instruments politiques	Opérer en complémentarité avec d'autres instruments politiques pour de meilleurs résultats de durabilité, innovation et compétitivité. Encadrement des effets de rétroaction non intentionnelle.
	Flexibilité	Adaptation et approche agile au marché, à l'évolution technologique, ainsi qu'aux PME.
Conception des systèmes harmonisés	Uniformisation et harmonisation	Réduction de la confusion en uniformisant et standardisant les informations, améliorant la cohérence entre les initiatives (publiques/ privées).
	Robustesse	En lien avec la crédibilité, une robustesse scientifique et une meilleure cohérence entre les méthodes d'évaluation des écolabels.
Iniquités et inégalités dans la mise en œuvre	Accessibilité	Favoriser l'inclusion des PME et pays en développement avec une meilleure flexibilité et encadrement de mesures politiques pour réduire les effets de rétroaction non intentionnelle et les iniquités.

Cette fragmentation de la gouvernance, dominée par le privé et les ONG, empêche l'émergence d'une vision globale au sein de secteurs interdépendants (Elhoushy et al., 2025). Les données recueillies sur 26 écolabels dans l'Annexe A illustrent ce déséquilibre, où seuls 23 % sont publics, contre 77 % gérés par le privé (ONG et organismes privés). Si une majorité est de nature privée et volontaire, le taux d'adoption serait modéré et s'expliquerait par l'effet « Boucle d'or » de la théorie des clubs (Buckley, 2020), lorsque leurs modèles d'affaires lucratifs reposent sur le membrariat payant. Ces programmes présentent des exigences élevées pour une exclusivité restreinte. Toutefois, leur croissance nivelle ces critères vers le bas, ce qui élargit le bassin d'adhérents, rivalisant pour un petit marché et provoquant le retrait des organisations performantes. En conséquence, les programmes gouvernementaux s'avèrent plus stables et crédibles (Huang, 2023; Rodríguez-García et al., 2023), plus adaptés aux conditions sociales (Aransyah et al., 2025; Tiago et al., 2021). Néanmoins, sans une stratégie intégrée combinant incitatifs économiques et réglementation (Bilbao-Terol & Bilbao-Terol, 2020; Buckley, 2002; Capacci et al., 2015; Elhoushy

et al., 2025; Nistoreanu et al., 2020; Rodríguez-García et al., 2023) cette « myriade d'écolabels » égare le consommateur (Font, 2002).

Enfin, bien que les voyagistes et réceptifs soient des interfaces stratégiques de la chaîne d'approvisionnement pour influencer les hôtels et les itinéraires (Schwartz et al., 2008), ils sous-exploitent leur influence, souvent par dissociation de leur responsabilité, limitant leur engagement à des implications philanthropiques volontaires de développement durable et à la diffusion passive d'information (Rome et al., 2006; Tepelus, 2005). Un changement de paradigme permettrait aux voyagistes et réceptifs de devenir des acteurs de la transition, en privilégiant des produits à forte efficacité carbone, afin d'assurer leur rentabilité future face aux risques climatiques (Gössling et al., 2026). Selon l'objet labellisé, l'acteur pouvant orchestrer les initiatives d'écolabels peut varier, ainsi que les acteurs impliqués, tels qu'un écolabel lié au territoire (Charles & Sauvin, 2013).

Conception harmonisée des écolabels touristiques

Contrairement à d'autres secteurs tendant vers une standardisation internationale (Yang et al., 2024), l'industrie touristique peine à uniformiser ses exigences en raison d'une forte personnalisation selon les contextes géographiques, réglementaires et sociodémographiques, ainsi que les secteurs d'activité (Buckley, 2002; Rodríguez-García et al., 2023). Buckley (2002) soutient qu'un système performant doit être adaptable plutôt qu'universel. Ainsi, 69 % des écolabels recensés sont adaptés aux contextes locaux et transnationaux (Annexe A). Toutefois, cette flexibilité crée une couverture inégale de la chaîne de valeur (hébergement, transport, restauration) (Sasidharan et al., 2002). L'absence d'encadrement réglementaire favorise une installation opportuniste des écolabels locaux (Nistoreanu et al., 2020), tandis que le manque de coordination entre les certificateurs et les agences gouvernementales (Elhoushy et al., 2025) à l'échelle locale et globale limite leur efficacité (Buckley, 2002).

Depuis 2007, la coalition Global Sustainable Tourism Council (GSTC) tente d'influencer ce paysage. Cependant, ses standards comprennent des critères souvent non mesurables (Elhoushy et al., 2025) et plusieurs écolabels peinent à répondre pleinement à ses critères (Rodríguez-García et al., 2023). Bien que certains écolabels recensés présentent une correspondance avec le GSTC (19 %) ou les objectifs de développement durable des Nations Unies (23 %) (Annexe A) leur impact réel reste indéterminable, car ils reposent sur des pratiques organisationnelles plutôt que sur des mesures d'impact (Elhoushy et al., 2025). Les écolabels recensés témoignent des divergences

comme les méthodes d'évaluation et les critères, même chez les membres accrédités par le GSTC (Annexe A), notamment les certifications connues à l'international Green Key étant à notation binaire et EarthCheck à niveaux.

La recherche ainsi que le recensement d'écolabels à l'Annexe A soulignent une focalisation disproportionnée des écolabels touristiques sur l'hôtellerie, délaissant les transports et la restauration (Babakhani et al., 2020; Elhoushy et al., 2025) et nuisant à la vision holistique du voyage (Elhoushy et al., 2025). Il en résulte un paradoxe, soit que l'empreinte carbone du transport peut annuler les gains environnementaux d'un hôtel certifié (Elhoushy et al., 2025). Ce cloisonnement crée des silos alors que ces derniers développent également des initiatives indépendantes. L'hôtellerie a recours à d'autres certifications pour l'enveloppe du bâtiment (e.g., LEED, BREEAM), sans passerelles claires avec les standards touristiques centrés sur les opérations touristiques (Kürüm Varolgüneş et al., 2023). La restauration développe ses propres outils, comme *Leaders in Environmentally Accountable Foodservice* (LEAF) au Canada. Le transport gère ses initiatives de manière autonome, via l'Association du transport aérien international (IATA) (adaptation de l'ISO 14001) pour les transporteurs, aéroports et services d'assistance, ou via l'Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne, qui déploie trois labels distincts couvrant les constructeurs, les opérateurs aériens et les opérations en vol (EASA, 2026). Ceci témoigne d'un vaste usage des écolabels, au-delà des consommateurs, également noté dans la littérature et recensé au Tableau 4.6. Cette diversité d'intérêts influence la conception des écolabels et pourrait expliquer pourquoi ils ne captent pas toujours l'attention des consommateurs (Buckley, 2002), mais également le manque d'uniformisation et d'harmonisation.

Parallèlement, l'usage d'écolabels d'autres secteurs progresse et est utilisé en tourisme, comme le bien-être animal et la pêche responsable pour les produits de la mer dans la restauration (Hernandez-Maskivker et al., 2025) ou la certification Forest Stewardship Council (FSC) pour la gestion des forêts des sites patrimoniaux et touristiques (Lafrenz Samuels & Platts, 2020). Cette interopérabilité présente néanmoins une dépendance entre les secteurs d'activité, malgré leurs opérations en silos. Or le manque d'harmonisation et de mesure de l'impact global nuit à la robustesse des écolabels et enferme le secteur dans des « compromis cachés », une forme d'écoblanchiment où l'amélioration d'un segment isolé occulte la réalité climatique globale du voyage.

Tableau 4.6 Utilisateurs et utilisations des écolabels (autres que les consommateurs finaux)
(recensement original des auteurs, 2026)

Catégories d'utilisateurs	Utilisations pour l'organisation	Auteur(s) et date(s)
Prestataires de services (hébergement, restaurants, fournisseurs)	Écoefficiente (eau, énergie); différenciation; l'image de marque; nouveaux marchés, gestion environnementale, la confiance relationnelle avec les fournisseurs locaux, répondre aux exigences de groupes d'intérêts et des voyagistes, la sensibilisation et influencer l'achat responsable	(Aransyah et al., 2025; Babakhani et al., 2020; Dias et al., 2024; Font, 2002; Hernandez-Maskivker et al., 2025; Rodríguez-García et al., 2023)
Intermédiaires (voyagistes opérateurs, agences de voyages)	Gestion durable de la chaîne d'approvisionnement; sélection des fournisseurs	(Dias et al., 2024; Font, 2002)
Destinations et autorités publiques (municipalités, organisme marketing de destination, gestionnaires de sites)	Marquage territorial ; accroître flux touristique et activités économiques, améliorer et signaler la qualité et protection environnementale, levier pour soutien politique et budgétaire; l'attribution de permis d'exploitation	(Bernini & Cerqua, 2020; Blackman et al., 2014; Buckley, 2002; Huang, 2023; Merino & Prats, 2022)
Services financiers (assureurs, prêteurs de capitaux)	Évaluation des risques environnementaux; fixation des primes d'assurance et établissement de critères d'éligibilité pour l'octroi de crédits ou d'investissements	(Buckley, 2002; Sasidharan et al., 2002)
Associations sectorielles (écotourisme, golf, hôtellerie)	Éducation et formation; lobbying auprès des instances gouvernementales et générations de revenus	(Buckley, 2002; Sasidharan et al., 2002)

Iniquités, inégalités et effets non désirables découlant des systèmes touristiques

L'adoption des écolabels contredit la théorie économique classique en n'entraînant pas d'augmentation significative des prix de vente (prix « premium ») (Bilbao-Terol & Bilbao-Terol, 2020; Buunk & van der Werf, 2019) et le prix demeure également le facteur de choix prédominant en tourisme (Bernini et al., 2021; Buckley, 2002; Buunk & van der Werf, 2019; Font, 2002). Bien que l'absence de retours financiers immédiats freine parfois la participation (Bilbao-Terol & Bilbao-Terol, 2020; Buunk & van der Werf, 2019), une réduction substantielle des coûts opérationnels est observée, notamment pour la consommation d'énergie, d'eau, la maintenance et la gestion des déchets (Aransyah et al., 2025; Buunk & van der Werf, 2019; Dias et al., 2024; Elhoushy et al., 2025; Hernandez-Maskivker et al., 2025).

Si les grandes entreprises privilégient les standards internationaux pour leur image de marque (Rodríguez-García et al., 2023), les PME préfèrent les certifications locales, jugées plus légitimes et adaptées aux contraintes opérationnelles et juridiques du terrain (Buunk & van der Werf, 2019; Huang, 2023; Nistoreanu et al., 2020; Sasidharan et al., 2002; Tiago et al., 2021, 2021). D'ailleurs, 64 % des écolabels recensés sont locaux ou transnationaux et 20% affichent explicitement leur accessibilité aux PME (ex. Écolabel Tourisme Luxembourg, Good Travel Seal, Green Hospitality Ireland dans l'Annexe A). Cette fragmentation crée un « fossé nord-sud » où les normes internationales, calquées sur les pays développés, créent des barrières protectionnistes entre les entreprises étrangères et les entreprises des pays en développement (Font & Buckley, 2001; Sasidharan et al., 2002). Dans ces régions, les retombées varient selon la nature de l'objet certifié (Blackman et al., 2014). À titre d'exemple, au Costa Rica, si la labellisation de biens privés (écolabel public CST³) n'affecte pas les prix, celle des ressources communes (ex. *Blue Flag*⁴) profite au luxe, par davantage d'investissements dans les quartiers aisés, au risque d'exclure les communautés locales de l'accès futur aux certifications, qui devront gérer des flux plus importants et les impacts en découlant (Blackman et al., 2014). De plus, l'intervention étatique peut générer des effets contre-intuitifs lorsque les voyageurs reçoivent des subventions destinées à la durabilité. Ce mécanisme de captation survient quand ces intermédiaires réduisent les prix payés aux hôtels certifiés, s'appropriant ainsi le bénéfice financier de l'aide publique (Lozano et al., 2016). Dans d'autres cas, l'image prime parfois sur le changement réel, menant aux dérives du « piège des îles », comme la durabilité compétitive, l'effet de couverture verte, l'investissement déconnecté d'une stratégie, le piège de l'exemplarité au profit des standards internationaux non rentables et nuisibles aux économies locales (Grydehøj & Kelman, 2017).

4.4.3 L'intégration de la modularité

Depuis le début des années 2000, la littérature touristique souligne une « désorganisation systémique » des écolabels appelant à une coordination et une harmonisation accrues (Buckley, 2002; Elhoushy et al., 2025). Le tourisme doit être appréhendé comme un système ouvert et « mou » (Jere Jakulin, 2017), dont la complexité est accentuée par des ressources partagées et des

³ Sous l'Annexe A

⁴ Idem.

parties prenantes multiples aux valeurs divergentes (McDonald, 2009). Ce système émerge de la coordination de ses sous-industries formant un ensemble de chaînes de valeur (Jere Jakulin, 2017).

Pour gérer cette complexité et cette désorganisation, la modularité offre une stratégie de gestion structurelle et opérationnelle éprouvée dans l'industrie manufacturière et en gestion, pour décomposer des systèmes complexes en modules (e.g., conception, structure organisationnelle) (Baldwin & Clark, 1997; Campagnolo & Camuffo, 2010). La modularité permet de créer des structures communes tout en gérant une grande variété de composantes (A. Bask et al., 2011; Brax et al., 2017). En misant sur la décomposabilité, elle réduit la dépendance et améliore la dissimulation de l'information (Avlonitis & Hsuan, 2017). Cette architecture modulaire définit les fonctions des modules, les interfaces d'interaction (personnes, flux d'informations, normes), les normes et règle de conformité et de conception et de mesure de leur performance (Langlois, 2002). Un recensement des principales caractéristiques de la modularité est énoncé dans le Tableau 4.7. Le principe fondamental consiste à traiter la complexité par la division en unités discrètes via des interfaces standardisées (Avlonitis & Hsuan, 2017; Langlois, 2002), transformant ainsi des problèmes globaux, autrement insolubles, en sous-tâches gérables, tout en favorisant l'innovation, la personnalisation et la flexibilité grâce à la reconfiguration des modules (Ethiraj & Levinthal, 2004; Langlois, 2002).

En lien avec les thématiques soulevées dans la littérature sur les écolabels en général, la littérature sur la modularité présente des potentiels d'amélioration. Notamment, pour transformer la gouvernance en substituant l'autorité hiérarchique par une « coordination intégrée ». Ce modèle repose sur des interfaces standardisées et une architecture hiérarchique à faible couplage, permettant aux unités autonomes de s'auto-organiser sans supervision constante, grâce à des règles de coordination (A. Bask et al., 2011; Campagnolo & Camuffo, 2010; Langlois, 2002). L'harmonisation s'appuie sur une architecture ou une plateforme commune définissant des règles de conception et des standards de performance (Campagnolo & Camuffo, 2010). Elle agit comme un catalogue de « blocs élémentaires » standards qui garantit la cohérence du système tout en facilitant la personnalisation via des composants déjà validés (Brax et al., 2017; Hunke & Satzger, 2024; P. P. Wang et al., 2011). Si son impact sur la réduction des iniquités reste peu documenté, elle est néanmoins explorée pour adapter les systèmes technologiques et les processus de santé aux besoins des communautés vulnérables (Baumann & Cabassa, 2020). Cette approche est particulièrement pertinente pour les écolabels touristiques. Bien que les forfaits reposent sur un

assemblage modulaire de produits et services, leur labellisation demeure nombreuse et fragmentée, peu coordonnée et peu intégrée (Buckley, 2002; Font & Buckley, 2001; Torma & Thøgersen, 2024). En appliquant les principes de la modularité aux structures de certification, l'industrie pourrait potentiellement surmonter certains défis de gouvernance, d'harmonisation et d'iniquité en agissant comme levier pour améliorer les attributs souhaitables (Tableau 4.5).

Tableau 4.7 Caractéristiques de la modularité (non exhaustives) (selon Langlois (2002) et Simon (1962)) (recensement original des auteurs, 2026)

Caractéristique de la modularité	Description
Hiérarchique	Structures communes via un schéma d'intégration générique qui assure une cohérence fonctionnelle.
Décomposable	Décompose le système en modules réutilisables et normalisés qui soutiennent la modélisation systémique. Facilite la compréhension de la composition d'un système et des points critiques.
Standardisation	Coordination intégrée où les interfaces et les normes agissent comme des mécanismes de coordination.
Transparence	Simplifie la gestion de l'information entre les règles visibles sur l'architecture, les interfaces (les interactions, les normes, la mesure de la performance) et les paramètres internes (cachés).
Flexibilité	Offre des propriétés évolutives en permettant la création de sous-assemblages et d'isoler des parties.
	Favorise l'innovation modulaire et la reconfiguration (<i>mix and match</i>), permettant d'ajuster et améliorer des modules spécifiques sans redessiner le système.
Efficience	Efficience des coûts de communication par le partage d'informations pertinentes aux différents groupes qui relève des modules concernés.

4.5 Discussion

Malgré l'absence d'unanimité quant aux bénéfices des écolabels (Fernandes Martins et al., 2022), la littérature souligne le rôle des gouvernements dans l'accroissement du bien-être social (Gonzalez-Torres et al., 2023; Hou et al., 2023), tout en notant leur manque de coordination avec les organismes de certification (Elhoushy et al., 2025). Bien que rares, les écolabels publics offrent une stabilité et une crédibilité supérieures à celles des modèles privés (Gonzalez-Torres et al., 2023; Hou et al., 2023; Prieto-Sandoval et al., 2020; Wurster & Ladu, 2020). Malgré les efforts du GSTC, l'industrie touristique souffre d'un manque de standardisation et d'une gestion en « silos », en parallèle d'autres industries, ce qui nuit à sa vision systémique et à sa coordination internationale (Elhoushy et al., 2025; Font, 2002; Rodríguez-García et al., 2023). Contrairement aux

marchandises, le tourisme déplace les consommateurs vers les destinations. Des multinationales certifiées captent souvent les ressources et subventions au détriment des acteurs locaux (Font & Buckley, 2001). Ces labels internationaux imposent des barrières techniques et économiques, créant un écoprotectionnisme et un fossé inéquitable qui incitent la création d'écotags locaux mieux adaptés aux entreprises locales (Font & Buckley, 2001). Parallèlement, dans les pays du Sud, la faible réglementation permet aux certificateurs privés de capter le marché (Marx et al., 2022) et leur nature marchande entraîne un effet de « boucle d'or », diluant les exigences pour attirer des membres, ce qui nuit à la crédibilité (Buckley, 2020). Une vision intégrée et flexible de chaque maillon est également nécessaire pour éviter les « compromis cachés » et répondre aux besoins personnalisés des différents utilisateurs de la chaîne (Tableau 4.6). Ceci est notable pour les forfaits touristiques, où il n'existe pas d'écotag pour les certifier et où les écotags des sous-industries dont ils dépendent sont fragmentés et incohérents, ce qui limite la compréhension globale des impacts d'un forfait.

Alors que l'industrie touristique est considérée comme un système ouvert (Jere Jakulin, 2017), caractérisé par des interactions complexes avec d'autres sous-industries et de nombreux acteurs opérant dans des contextes sociodémographiques, économiques et juridiques variés, les écotags actuels échouent à répondre à la complexité du tourisme de manière structurée. Une forte présence d'écotags personnalisés reflète un besoin d'uniformisation et de standardisation sans compromettre les caractéristiques contextuelles propres au tourisme. Face à ces constats, la modularité apparaît comme un levier conciliant pour répondre à certains attributs souhaitables des écotags face à la complexité de l'industrie touristique. Les attributs souhaitables identifiés pour les écotags en général (Tableau 4.5) s'appliquent également au secteur du tourisme, avec l'ajout d'éléments spécifiques au secteur, énoncés au Tableau 4.8, compte tenu de la complexité de son industrie. Ces derniers concernent l'ancrage des écotags dans les contextes, soit par une coordination accrue avec les gouvernements, tout en s'inscrivant dans une vision systémique standardisée et flexible d'application entre industries. Ils identifient le besoin de concilier l'adaptation des écotags aux acteurs de l'industrie et aux contextes locaux et internationaux dans lesquels ils opèrent. Dans les prochaines sous-sections, l'application théorique et pratique de la modularité au système touristique est présentée, ainsi qu'une proposition de cadre d'écotag modulaire.

Tableau 4.8 Attributs souhaitables des écolabels touristiques face à la complexité touristique (réalisation originale des auteurs, 2026)

Principaux thèmes émergents	Attributs de performance souhaitables en général	Attributs de performance souhaitables en tourisme
Gouvernance	Crédibilité	
	Intégré au système d'instruments politiques	<i>Coordination entre gouvernements et organismes d'écolabellisation.</i>
		<i>Vision systémique intégrée.</i>
	Flexibilité	<i>Flexibilité d'application entre industries et contextes.</i>
Conception harmonisée	Uniformisation et harmonisation	<i>Standardisation et interopérabilité</i>
	Robustesse	
Iniquités et inégalités	Accessibilité	<i>Adaptable (personnalisable) aux types d'organisations et aux contextes locaux.</i>

4.5.1 Application théorique de la modularité au système touristique

En théorie, l'approche modulaire simplifie la complexité du secteur touristique en la décomposant en sous-systèmes indépendants. Plutôt qu'un bloc monolithique, cette architecture s'appuie sur des interfaces standardisées (e.g., normes, interactions) et un consensus quant à la mesure des impacts (e.g., performances) pour coordonner ses sous-systèmes et modules.

À l'image des normes IATA/EASA mentionnées plus haut, des écolabels d'un service complexe comme le transport aérien deviennent un assemblage de modules certifiés (aéronef, aéroport, assistance) formant la chaîne d'approvisionnement. Chaque module définit ses règles et normes, favorisant l'harmonisation et la standardisation au sein d'un système touristique coordonné comme le recommande la littérature (Buckley, 2002; Elhoushy et al., 2025; Font, 2002). Cette décomposabilité offre une granularité d'information organisée et spécifique, qui pourrait notamment porter sur les composants d'un produit ou d'un service et leurs ressources, les pratiques, les critères de mesure de la durabilité et les unités de mesure. Elle favorise la transparence et l'uniformisation des critères de durabilité, essentielles pour coordonner l'ensemble des modules tout en démontrant leur conformité aux exigences de standardisation de l'information (Buckley, 2002; Elhoushy et al., 2025). Bien que la modularité puisse autonomiser la coordination (Langlois, 2002), la vérification indépendante par des tiers assure une crédibilité accrue (Font, 2002) et peut être facilitée par une structure standardisée et commune. Alors que la littérature recommande une coordination d'autres instruments politiques avec les écolabels (Christensen et al., 2022; Danilina & Grigoriev, 2019; Furumo et al., 2020; Gonzalez-Torres et al., 2023, 2023; Hou et al., 2023;

Koerner et al., 2024; Kumar kar & Harichandan, 2022; Polverini et al., 2021, 2021; Qi & Yu, 2025; Yau et al., 2021; Yokessa & Marette, 2019), une structure claire, organisée et standardisée pourrait faciliter l'agilité des modifications ou des encadrements ciblés. Plutôt que de privilégier un type d'écolabel, privé ou public, cette approche exploite la modularité pour remédier aux défaillances systémiques face à la complexité de l'écosystème.

De plus, la modularité offre la flexibilité nécessaire pour adapter les exigences aux acteurs des industries, aux technologies émergentes, ainsi que sur les questions d'accessibilité des PME, de contextes géographiques, répondant ainsi aux critiques d'inadaptation des écolabels (Buckley, 2002; Buunk & van der Werf, 2019; de Melo et al., 2024; Huang, 2023; Nistoreanu et al., 2020; Prieto-Sandoval et al., 2020; Sasidharan et al., 2002; Sureeyatanapas et al., 2021; Tiago et al., 2021; Wurster & Ladu, 2020; Yau et al., 2021). En compartimentant les informations relatives aux critères de durabilité en modules (e.g., par catégorie d'enjeux, niveaux de maturité et modules personnalisés), la structure conserve une conception harmonisée et cohérente tout en permettant de réutiliser des modules avec flexibilité, soit en les ajoutant avec le temps, soit en les sélectionnant selon les certifications. Ce principe s'inspire de la personnalisation de masse manufacturière en sélectionnant des modules de pièces de différentes matières, couleurs ou fonctionnalités pour l'assemblage (A. Bask et al., 2010, 2011; Voss & Hsuan, 2009). Un tel alignement renforce la robustesse scientifique et l'uniformité des informations communiquées et pourrait également accroître l'efficacité des coûts de communication grâce à la réutilisation d'informations et à une mise à jour facilitée (Langlois, 2002).

Les écolabels touristiques pourraient donc reposer sur un cadre aux caractéristiques modulaires (Tableau 4.7) pour améliorer les attributs souhaitables des écolabels touristiques, comme présentés dans la Figure 4.2. Cette architecture permettrait une comptabilisation progressive des impacts et faciliterait également l'assemblage cohérent de profils de durabilité évolutifs et personnalisables.

Gouvernance	Harmonisation	Accessibilité
Architecture modulaire des sous-industries et des produits et services standardisés Définition et décomposition standardisée des exigences par sous-secteur, et des produits et services du système touristique intégré (e.g., en aviation : véhicule, aéroport, assistance, etc., les hébergements : construction, opérations, restauration, sous-traitance, etc.). Utilisation de normes et d'un consensus sur la mesure des impacts pour coordonner les acteurs au sein d'une architecture commune.	Critères de durabilité modulaires transversaux Organisation standardisée par catégories d'enjeux et cycles de vie, assurant une progression uniforme et cohérente entre les industries et leurs produits et services. Complémentarité entre les modules de pratiques organisationnelles et les modules de mesure d'impact, afin de favoriser la performance globale. Mesure robuste Association de chaque module à des méthodes, outils d'évaluation, et des unités de mesure communes, renforçant la fiabilité et l'interopérabilité (flexibilité).	Structure progressive et adaptée Application progressive des critères et de leur mesure, ainsi qu'une adaptation aux types d'organisation et de contexte à l'aide de modules personnalisables.

Figure 4.2 Cadre d'écolabel touristique modulaire (réalisation originale des auteurs, 2026)

4.5.2 Application pratique de la modularité au système touristique

La littérature scientifique présente le métaécolabel ou le type de gouvernance internationale comme un modèle pouvant favoriser la reconnaissance mutuelle, l'harmonisation et la métaréglulation (Lavallée & Barentsein, 2004; Torma & Thøgersen, 2024). Cependant, le concept demeure principalement théorique. Techniquement, la modularité s'exprime déjà par des écolabels majoritairement pour l'hébergement, assorti d'exigences graduées selon le niveau et la catégorisation des critères. Cependant, l'incohérence actuelle entre les programmes entrave la robustesse des stratégies de métalabel. Ce principe est intéressant comme cadre d'écolabel auquel la modularité pourrait s'appliquer, néanmoins, il devrait répondre aux attributs souhaitables.

Bien que les tensions de marché exigent une collaboration et une coordination étroites, la modularité offre une vision systémique décomposée et intégrée entre les organismes d'écolabels et les gouvernements. Cette structure hiérarchique et décomposée offre une vue d'ensemble des industries et acteurs impliqués pour faciliter la coordination et éviter les cloisonnements le long des chaînes d'approvisionnement, soutenant la prévention d'effets de rebond ou d'écoblanchiment. Alors que les écolabels manquent de crédibilité, une structure indépendante avec des règles communes standardisées pourrait réduire les biais de conception (e.g., réduction des exigences), renforcer les processus de vérification par des tiers et des accréditations aux standards communs existants.

Ensuite, la décomposition du système en modules renforce la robustesse et la standardisation grâce à des définitions et des méthodes d'évaluation plus précises, permettant de comparer et de différencier les produits et services sur des bases communes. La standardisation répond également aux besoins d'harmonisation et d'uniformisation des normes et exigences associées aux modules, notamment sur le cycle de vie, auxquels plus d'un écolabel pourrait répondre (e.g., écolabels sur l'hébergement touristique ciblant principalement les opérations et d'autres visant l'enveloppe des bâtiments pour les phases de construction et de rénovation). Des écolabels ciblant des cycles spécifiques deviennent ainsi complémentaires au sein d'un métaécolabel, à condition de partager des informations cohérentes, notamment par les mêmes unités de mesure. Par ricochet, cette coordination entre les modules nécessite une transparence accrue et, par conséquent, confère une meilleure crédibilité. Cette coordination modulaire accroît la transparence et la crédibilité. Ensuite, en structurant des informations standardisées, les écolabels gagnent en interopérabilité et en flexibilité. À l'image d'un forfait touristique, modifier un module (e.g., transport aérien pour transport terrestre) n'affecte pas les autres composantes certifiées d'un forfait. Enfin, ces exigences standardisées servent à diverses finalités de reddition de comptes et communications environnementales, selon la sélection des modules et des critères (Tableau 4.6), offrant ainsi une application modulaire harmonisée et flexible.

La modularité peut favoriser l'accessibilité grâce à une application progressive (modulaire) de la durabilité. Elle a le potentiel d'instaurer un socle (modules) de base adapté aux PME, des exigences accrues pour les grandes entreprises et une personnalisation contextuelle (e.g., culturelle, géographique) tout en demeurant standardisées. Ceci permet de comparer la durabilité à l'international sur des éléments communs et, localement, sur des éléments spécifiques, afin de comparer les entreprises locales sur ces critères personnalisés au contexte local. Cette approche concilie des méthodes d'évaluation existantes (e.g., à niveaux, à seuils minimaux ou binaires) (Annexe A) en instaurant des modules minimaux standards et d'autres personnalisés. Tel que proposé par Teigeiro et al. (2025), la modélisation modulaire de l'industrie touristique concilie la standardisation systémique et la personnalisation face aux multiples dimensions de la durabilité.

4.5.3 Défis de mise en œuvre

Le passage à un système modulaire représente une « tâche herculéenne », comme le mentionnaient Janßen & Langen (2017) quant à la création d'écolabels internationaux capables de gérer la

mondialisation tout en restant transparents. Cette transition exige une coordination étroite entre les chercheurs, l'industrie et les gouvernements. Comme toute idée nouvelle, cette proposition soulève plusieurs questions et avenues de recherche.

Premièrement, sur le plan de l'acceptabilité institutionnelle et de la gouvernance, le passage d'une culture de compétition à une culture de coopération technique appelle à explorer des modèles de métagouvernance. Il serait pertinent d'étudier comment inciter les organismes de certification privés à adopter une structure modulaire sans compromettre leur viabilité financière ni leur identité de marque. Deuxièmement, la viabilité de la modularité pour les PME du sud global constitue un domaine majeur de l'industrie touristique, compte tenu de leur impact environnemental cumulé important (Gössling & Reinhold, 2024). Des études de cas empiriques permettraient d'évaluer si la structure par modules graduels et la personnalisation des exigences réduisent réellement les barrières à l'entrée, ou si, le besoin d'écolabels sophistiqués n'engendre pas une nouvelle forme d'exclusion technologique. Troisièmement, une analyse de l'effet rebond lié à la transparence informationnelle s'avère indispensable pour comprendre comment une information plus précise, grâce à la modularité, pourrait entraîner des effets rebond, tant au niveau de la conception des écolabels qu'au niveau des comportements de consommation. Ces recherches permettront d'ajuster l'approche modulaire aux écolabels en tant qu'outil de transition pour l'industrie touristique.

Finalement, une modularité excessive peut devenir contre-productive en raison d'un effort d'intégration lent (Ethiraj & Levinthal, 2004). Il est préférable d'adopter une structure souple au début afin de favoriser l'étude de la configuration optimale (Langlois, 2002). Face aux coûts élevés liés à une intégration (Langlois, 2002), les jumeaux numériques pourraient alors permettre d'expérimenter les niveaux de modularité intersectorielle optimaux. Un autre défi, à risque d'écoblanchiment par des compromis cachés, est la sélection des critères de base afin d'éviter une simplification susceptible de reproduire l'« effet de boucle d'or » (Buckley, 2020).

Si la prolifération des écolabels entraîne une compétition entre écolabels, elle est plus susceptible d'entraîner des impacts positifs si chacun cible des marchés distincts (Fischer & Lyon, 2014). Ce type de structure standardisée devrait être appuyé par les gouvernements pour amener les systèmes à converger vers des standards. De futures recherches sur les comportements stratégiques de survie pourraient également être intéressantes à étudier, notamment sur les fusions, acquisitions ou alliances entre écolabels privés, mais aussi pour éviter les monopoles de certification privés qui

pourraient rendre l'accès exclusif aux grandes entreprises financièrement plus stables, et donc capables de payer les frais nécessaires.

4.6 Limites

Les contributions de cette étude doivent être interprétées à la lumière de certaines limites méthodologiques et conceptuelles. Premièrement, bien que la sélection des sources ait été systématisée afin de garantir la rigueur de l'analyse, cette recherche repose sur une revue narrative non exhaustive, principalement fondée sur la littérature scientifique, et exclut la littérature grise.

L'analyse se concentre sur les structures, mécanismes et dynamiques de mise en œuvre étudiés, omettant les obstacles externes potentiels, tels que le lobbying, susceptibles d'entraver la transparence et la comparabilité des mesures d'impact. L'étude exclut également de tels effets découlant d'une structure modulaire des écolabels, ainsi que les comportements des consommateurs associés à ces écolabels. Or, un décalage persiste entre les intentions et les pratiques réelles des touristes (Karlsson & Dolnicar, 2016). Une attitude positive ne garantissant pas un comportement responsable (Reiser & Simmons, 2005), il demeure crucial d'identifier des incitatifs et des affichages uniformisés capables de transformer l'information en action (Budeanu, 2007; Muller et al., 2019). Enfin, le recensement des écolabels touristiques (Annexe A) s'appuie exclusivement sur des systèmes publics et privés accessibles. Ce biais de sélection privilégie les certifications les mieux documentées, écartant potentiellement des initiatives moins visibles, ce qui peut influencer les statistiques de représentation.

Bien que les écolabels opèrent dans d'autres industries que le tourisme, démontrant également une complexité systémique, cette étude analyse uniquement l'apport de la modularité aux écolabels touristiques face à la complexité de leur système économique. Cette exploration pourrait constituer une piste de recherche future pour améliorer les structures actuelles des écolabels dans d'autres secteurs, en vue d'une harmonisation systémique et d'une standardisation cohérente entre les chaînes d'approvisionnement.

4.7 Conclusion

Cette recherche met en lumière l'inefficacité des écolabels face à la complexité de l'industrie touristique. Bien qu'essentiels, leur prolifération et le manque de mesures rigoureuses nuisent à leur crédibilité. L'objectif était de démontrer comment la modularité pourrait transformer les écolabels

en systèmes d'information robustes soutenus par une vision systémique face à la complexité de l'industrie du tourisme.

Une architecture structurée permettrait d'agréger les impacts de modules standards (transport, hébergement, activités) pour évaluer la performance globale des forfaits ou répondre à divers besoins de reddition de comptes. Soutenue par l'informatisation, cette coopération technique offre une information fiable et personnalisable, adaptée aux contextes locaux, tout en réduisant les barrières d'entrée pour les PME. Passer d'outils marketing à un système modulaire interopérable constitue une approche à approfondir pour une transition plus responsable du système touristique. Toutefois, ce changement exige davantage de recherche, un encadrement gouvernemental fort, ainsi qu'une forte collaboration des acteurs de l'industrie et des organisations d'écolabellisation pour garantir l'harmonisation et prévenir l'écoblanchiment.

CHAPITRE 5 ARTICLE 2 : A MODULAR MODELLING FRAMEWORK OF TOURISM SUSTAINABILITY: THE CASE OF ECO-EFFICIENCY

Sarah Teigeiro, Sophie Bernard and Jean-Marc Frayret

Submitted to the journal *Sustainability* on March 17, 2026, en revision.

5.1 Abstract

Environmental evaluations in tourism research are often irregular and incomplete, and tourism ecolabels lack international standardisation and scientific validation. Due to the complexity of the tourism system, various evaluation scopes are needed based on specific contexts. For this purpose, a modular approach is proposed to improve the standardisation and robustness of sustainability evaluation and measurement in tourism. This paper introduces a systemic, multidimensional and multiperspective modular modelling framework for analysing tourism's production and consumption systems. The framework aims to provide a common framework that allows for standardisation, structure, and flexibility in assessing and measuring tourism sustainability, with a particular focus on eco-efficiency. The modularity concept deconstructs system complexity from various perspectives, enabling a flexible and standardised method for measuring tourism eco-efficiency impacts using the IPAT equation. This approach enhances the evaluation process and paves the way for standardized eco-labels in the tourism industry.

Keywords: Sustainable tourism; eco-efficiency; modularity; multiperspective; multidimension; ecolabel.

5.2 Introduction

Despite the economic benefits of tourism, its activities significantly strain resources. Between 2009 and 2019, global tourism-related emissions increased at an average annual rate of 3.5%, which is twice the growth rate of the global economy, reaching 5.2 gigatons of CO₂-equivalent in 2019. This accounts for approximately 8.8% of total global greenhouse gas emissions (Y.-Y. Sun et al., 2024). In 2024, the tourism sector officially recovered to pre-COVID-19 levels of 2019, with 1.4 billion international tourist arrivals globally (UNWTO, 2025). While the past footprint is alarming, the

future may present even greater risks and concerning effects if no drastic measures are taken. According to the United Nations Environment Program (2012), maintaining a business-as-usual scenario until 2050 could result in a 154% increase in energy consumption, a 131% rise in greenhouse gas emissions, a 152% increase in water consumption and a 251% surge in solid waste disposal. The increasing tourist flow and negative impacts of tourism demand more robust quantitative approaches to measure and monitor tourism effects closely (Asmelash & Kumar, 2019; Butler, 1999; Filimonau, 2016). Various evaluation tools and methods address sustainability issues across economic, environmental and social dimensions, each with specific limitations and applications. As evaluation methods become more precise, resource efficiency must continuously improve to keep tourism within planetary boundaries (Gössling et al., 2005). To communicate their progress in reducing negative impacts and to stand out, enterprises and destinations can seek ecolabels, as one of many measures. However, tourism ecolabels lack international standardisation and do not always rely on scientifically proven environmental evaluations (Font, 2002), but rather on practice-based standards (Prag et al., 2016). Research is needed to bridge the gap between evaluation tools and ecolabels, accommodating the industry's complexity and heterogeneity, and providing tourism actors with scientific and comparable eco-efficiency measures.

Since the release of the Brundtland report in 1987, studies on tourism sustainability have proliferated, highlighting the industry's complexity. The tourism supply chain, encompassing all activities and operations that deliver tourism products and services, is fragmented across various industries, such as transportation, accommodation, restauration, and activities, as well as ancillary services like banking and insurance (Filimonau, 2016). The quality and characteristics of tourism offerings, such as transportation subcategories and the diverse array of products and services, reflect the heterogeneous nature of tourist preferences and interests, as well as types of tourism (e.g., business, adventure, cultural) and activities (e.g., attractions, tours, sports events, conferences) (Castellani & Sala, 2012; Filimonau et al., 2014)). Jere Jakulin (2017) describes the complexity of the tourism system as a soft organisational system, characterised by interactions among its subsystems that influence its development. These subsystems extend beyond hard systems with rules and rigid structures, encompassing various stakeholders, supply and demand dynamics, and informational, material, financial, social, and psychological components. Each component has specific behaviours and activities aimed at achieving its goals. Therefore, the implementation of ecolabels may vary based on these contextual factors, in addition to the

perspectives of those concerned. Perspectives refer to the viewpoints, such as stakeholders' or products and services' standpoints, from which we analyse a system. Consequently, this paper contributes to this literature by exploring the potential of a modular approach to standardise and structure tourism sustainability modelling, thereby enhancing the flexibility of tourism evaluation and measurement based on different lenses of the ecosystem.

This paper proposes an initial step toward structuring tourism production and consumption in ways that reconcile the sector's complexity with the imperative of sustainability. While digital platforms and centralized systems have facilitated unprecedented ease in travel planning, information regarding the environmental, social, and cultural consequences of individual choices remains limited. To address this gap, we introduce a systemic, multiperspective, and multidimensional modelling framework that provides tourism stakeholders—including service providers, tour operators, government entities, tourists, and scholars—with concepts and representations for studying tourism eco-efficiency performance in a holistic and structured manner. By standardizing and organizing information through modularity, the framework supports the measurement of tourism resource consumption and production impacts across all types of tourism. In doing so, it enables the integration of impact-based metrics into decision-making throughout tourism supply chains, allowing stakeholders, including travellers, to align their choices with sustainability objectives. This proposal builds on the framework for sustainable production and consumption for travellers by De Camillis, Peeters, Petti and Raggi (2012), expanding tourism perspectives and evaluation tools to better address sustainability challenges.

While the focus of this paper is on eco-efficiency, it acknowledges the importance of other sustainability dimensions (e.g., social and cultural) for future contributions. Recognising that carrying capacities exhibit non-linear characteristics, where each additional unit of production-consumption can have a disproportionate impact, this study positions itself within ranges where the marginal impact is constant. Therefore, the concept of carrying capacity is integrated into the proposed modelling framework with specific thresholds.

This paper begins with a literature review on the emergence and current application of ecoefficiency in tourism, along with the concepts supporting the proposed modelling framework (Section 5.3). Section 5.4 details the methodology, presenting the main concepts underpinning the tourism system modelling framework presented in Section 5.5. The discussion (Section 5.6)

describes the framework's application to the cases of a supplier and a tour operator, demonstrating its suitability for ecolabels. The paper concludes with the study's limitations and future research opportunities (Section 5.7).

5.3 Literature review

5.3.1 Tourism eco-efficiency

Introduced in the 1990s, the eco-efficiency concept aims to strike a balance between compromises and continuous improvements, anticipating consumption alternatives based on environmental and economic data. Recognized by the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2006), eco-efficiency aims to create equal or greater value to satisfy human needs with less environmental impact, adhering to the Earth's limits. While it underscores carrying capacity as a threshold for economic development, this notion of limits is politically unpopular (Butler, 2019) and context-dependent (Pásková et al., 2021). Gössling et al. (2005) introduced the concept of eco-efficiency in the tourism literature, suggesting the benchmarking of tourism emissions per unit of value against the average sustainable world eco-efficiency. Tourism emissions are expected to decrease continuously as global economic growth increases, to remain within the Earth's carrying capacity (Gössling et al., 2005).

Sun et al. (2020) identify three methods in the literature for measuring tourism eco-efficiency: single ratios, index system methods, and models. These methods range from simple to multi-factor analyses. Single ratio methods, suitable for individual projects or technical objects (Y. Sun et al., 2020), have been applied in various scopes and contexts (Cadarsó et al., 2016; Gössling et al., 2005; Nguyen et al., 2020; Papargyropoulou et al., 2016; Thamagasorn & Pharino, 2019). Index system methods, created by indicators to measure eco-efficiency, can be applied at various scales (Gössling et al., 2005). Model methods involve advanced nonparametric analysis models such as DEA (data envelopment analysis), which are suitable for regional-scale analysis to study spatial and temporal developments (Liu et al., 2017; Lu et al., 2021; Y. Sun et al., 2020).

To our knowledge, comprehensive studies on eco-efficiency for tourism packages from the perspectives of tourists or tour operators are lacking. Existing studies focus on economic scales (e.g., destinations, provinces, countries), tourism components (e.g., accommodation and transportation), or specific environmental indicators (e.g., CO₂ eq. emissions and solid waste management). Index systems could support the evaluation of tourism package eco-efficiency, as

they are well suited to complex social, economic, and natural systems at regional scales. However, they are criticized for the subjective weighting in results evaluation (Peng et al., 2017).

5.3.2 Evaluation tools and tourism evaluation models

Despite advancements in evaluation tools in the tourism literature, proposed indicators (Asmelash & Kumar, 2019), and tourism impact evaluations, these remain disparate in their methods, scope, impact spectra, and tool combinations. The diversity complicates the comparisons and decision-making for stakeholders with varying objectives. Tourism studies employ a wide range of evaluation tools, from environmental sciences, engineering or social science, focusing on specific indicators (e.g., climate change, waste generation), tourism products and services or sectors (e.g., transportation and accommodation), types of tourism (e.g., ecotourism, urban, sports, events), scales of analysis (e.g., products and services, holiday packages, destinations and geographic scales), and perceptions (e.g., tourists, tour operators and governments) for different purposes (e.g., regulatory compliance, competitiveness, United Nations objectives, etc.). Authors have identified various sustainable tourism indicators tailored to specific stakeholder categories (Purwaningsih et al., 2020) and those suitable for different destinations, thereby aligning the academic and political realms for operationalization (Tanguay et al., 2011). Arzoumanidis et al. (2021) analyse potential life cycle-based sustainability and circularity indicators related to the hospitality sector, while Torres-Delgado and Saarinen (2013) investigate the role of indicators for a sustainable tourism transition and review the pros and cons of simple and combined indicators versus indexes at various scales. Despite the search for an ideal set of indicators, challenges such as data accessibility and subjective interpretation persist (Torres-Delgado & Saarinen, 2013). These studies indicate that multiple viewpoints are essential, as stakeholders both impact and are impacted by tourism sustainability.

Current models fail to capture the global complexity of tourism, and studies often remain incomparable unless disaggregated (Berners-Lee et al., 2011; Cadarso et al., 2016). On the other hand, studies mention the need to combine tools to enhance evaluation robustness and bypass limitations (Cadarso et al., 2016; Castellani & Sala, 2012; Schianetz et al., 2007); however, this increases the complexity of measuring tourism eco-efficiency. Various tools analyse different tourism aspects: Greenhouse Gas (GHG) Protocol for air transportation (Gössling et al., 2024), a hybrid multi-criteria approach for hotel chains' sustainability indicators (Míguez et al., 2023),

Input-Output (I-O) approach for Japan's tourism carbon footprint (Kitamura et al., 2020), Material Flow Analysis (MFA) for food waste in-flight catering (Thamagasorn & Pharino, 2019), Ecological Footprint (EF) Analysis for ecotourism packages (Mancini et al., 2018), Data Envelope Analysis (DEA) for Chinese coastal cities' eco-efficiency (Liu et al., 2017), Life Cycle Assessment (LCA) for tourism components (Filimonau, 2016) and Sustainability Indicators (SI) at the municipal level (Torres-Delgado & Palomeque, 2014). Tool combinations such as LCA and I-O methods (Berners-Lee et al., 2011) and LCA and EF (Castellani & Sala, 2012). In the food supply chains, life cycle eco-efficiency has been applied to products and their sub-sectors to identify eco-efficiency improvements (Konstantas et al., 2020). Though insightful, tool applications remain limited due to methodological weaknesses and practical challenges (Filimonau, 2016).

Evaluation models in the tourism sustainability literature often portrays the industry and holiday packages as linear and simple systems, whereas they are in fact complex and dynamic (Candia & Pirlone, 2021; Castellani & Sala, 2012; Filimonau, 2016; Filimonau et al., 2013). These models serve different purposes and lack a standard consensus. More flexible and standardised evaluation models and ecolabels (Font, 2002) could improve data reuse across contexts, enhancing eco-efficiency measures within the tourism system's complexity.

Considering multiple perspectives and dimensions that define the context (scale, time, scope) while acknowledging the need to combine tools for comprehensive tourism eco-efficiency adds to the evaluation complexity, alongside considerations of carrying capacities. Although further development of carrying capacities is beyond the scope of this study, it acknowledges their critical role as the foundation of sustainable tourism, requiring joint consideration by all tourism stakeholders.

5.3.3 Tourism ecolabel

Ecolabels provide information about a product before the purchase decision (Buckley, 2002, 2011) and aim to enhance the environmental performance of the applicants, driven by market forces, peer pressure, or subsidies (Font, 2002). However, tourism ecolabels are uncoordinated internationally, numerous, and created for different players and subsectors, identifying various tourism products, scales, and quality levels (e.g., national, local, destination, spaces such as beaches and parks, and activities). The Global Sustainable Tourism Council (GSTC) publishes sustainable tourism criteria for a range of tourism stakeholders and activities, including destinations, tour operators, hotels, and

MICE tourism (which stands for meetings, incentives, conferences, and exhibitions), as guidelines for certifications. These guidelines specify what should be done but not how, nor what to measure or the suggested thresholds. Buckley (2002) notes that effective tourism ecolabels should be customizable to the context of different countries, ecosystems, and activities. Conversely, Font (2002) recommends standardisation, focusing on processes or performance benchmarks at the national certification authority level. This would restrict their international development due to varying legislation and requirements between sectors and countries.

Ecolabels lack methods to enforce sustainable management, measure performance and consider improvements that do not guarantee sustainability (Font, 2002), impeding international standardisation (Buckley, 2011; Font, 2002; Gössling & Buckley, 2016). The International Organization for Standardization offers a family of standardised guidelines for applying ecolabels (ISO, 2022). Type III ecolabels inform buyers about the performance of a product or service's life cycle and should allow comparisons (ISO, 2006). Currently, standardising tourism labels for international recognition remains challenging, and no tourism ecolabels follow a standardised impact evaluation approach, allowing for the communication of sustainability evaluations or eco-efficiency performance.

5.3.4 Modularity to facilitate the transition to eco-efficiency

As briefly discussed, the concept of modularity could benefit the complex tourism system by providing a structured depth of analysis. The literature explores modularity in several contexts, addressing management (Campagnolo & Camuffo, 2010), innovation (Ethiraj & Levinthal, 2004), service design (Avlonitis & Hsuan, 2017) and organisational economic issues (Langlois, 2002). These studies decompose complex systems into so-called “modules”, revealing their compositions, interactions or interdependencies (Langlois, 2002). Avlonitis et al. (2017) note that modularity research aligns with modularity multi-level analysis, and is cohesive when services are examined from a systems theory angle, as modularity is a general characteristic of systems.

The service sector has yet to fully exploit modularity for sustainability purposes, while two studies investigate the advantages of scaling and updating the life cycle model using reusable independent modules. One study integrates modularity (Buxmann et al., 2009), while the other applies object-oriented modelling (Gadre et al., 2017) to the life cycle approach, standardising modules for different applications and increasing flexibility and reusability. Object-oriented modelling methods

reduce complexity by representing the structure of real-world systems in a simplified manner, originally used to structure software data and its behaviours (Rumbaugh et al., 1991). This method identifies and classifies system components and behaviours as general modules to reproduce and analyse real-world instances. Modularity is well suited for examining the complexity of tourism, as it allows for the organization and definition of its components into distinct modules. For example, analyzing various tourism perspectives, such as those of supply chain actors, through modularity would involve scaling, mixing, and matching tourism resources or products and services modules based on environmental evaluation and labelling schemes.

5.3.5 Gaps' summary

While the scientific community continues to improve environmental assessment tools, their application in tourism primarily focuses on destinations, products and services, particularly accommodation and transportation. Evaluations of tourism packages, activities, and other services within the tourism system have been limited (Candia & Pirlone, 2021; Filimonau, Dickinson, Robbins, & Reddy, 2011; Filimonau et al., 2013; Gössling et al., 2005; Miralles et al., 2024), especially regarding eco-efficiency within carrying capacities. Furthermore, a more comprehensive representation of the tourism system is necessary to effectively navigate its complexity and diversity. The concept of modularity holds potential for enhancing the organisation and standardisation of the complex tourism ecosystem for evaluation purposes (Figure 5.1). This study focuses on the modularity and modelling of the tourism system to evaluate eco-efficiency as a sustainability issue. To the best of our knowledge, no study explicitly links modularity with improving the robustness of modelling and sustainability evaluations and measurements in services or tourism, or with enhancing its eco-efficiency.

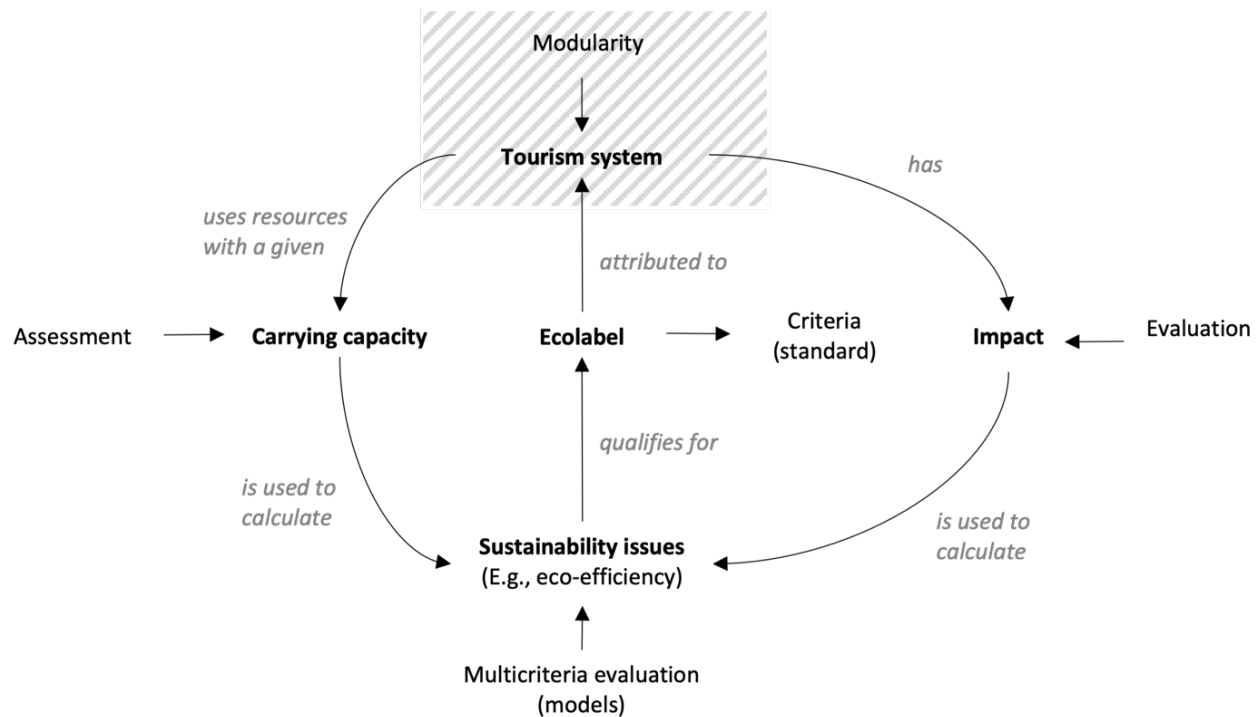


Figure 5.1 Literature review mapping illustrating how the concepts interconnect

5.4 Methodology

The conceptual framework is based on a literature review of concepts relevant to defining, modelling, and evaluating eco-efficiency within the tourism system. These concepts include modularity, eco-efficiency, carrying capacity and eco-labels. The modularity concept and object-oriented modelling techniques offer a flexible and “assemble on demand” approach to model and evaluate the tourism system. Perspectives and dimensions guide the eco-efficiency measure and support decision-making for stakeholders, while also setting the stage for eco-efficiency modelling scenarios (instances) using the IPAT equation and integrating economic and measurement tools such as life cycle assessment. The framework introduces opportunities for eco-efficiency modelling with impact criteria. Figure 5.2 illustrates a logical sequence applying these concepts. Perspectives provide viewpoints for analysing and improving the tourism system’s eco-efficiency, while modularity models the system, including dimensions such as the spatial, temporal, and contextual factors, to support the selection of evaluation tools. The tourism system impacts are then assessed using single or combined evaluation tools (Schianetz et al., 2007), and labels can be awarded based on these evaluations, though they require structure and standardisation. Therefore, modularity is suggested to standardise the building blocks of tourism eco-efficiency.

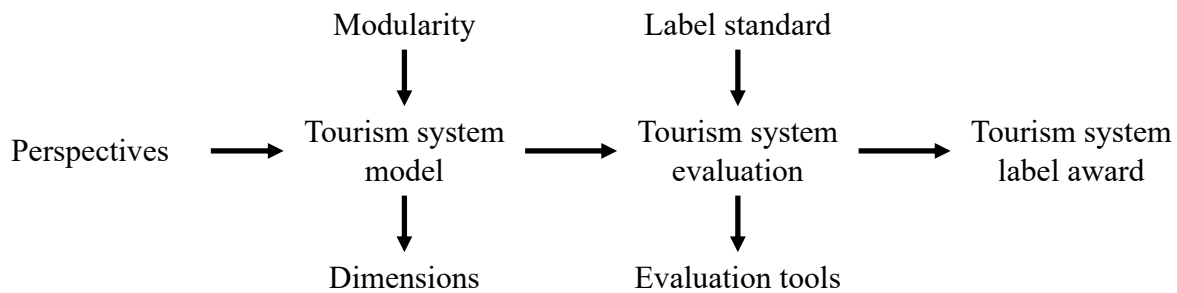


Figure 5.2 Logical sequence applied to the concepts' use

5.5 Conceptual models to measure tourism eco-efficiency

5.5.1 Tourism multidimensional and multiperspective eco-efficiency framework

First, modularity, an engineering concept, is proposed as a means to model tourism systems using standard modules defined by specific attributes, relationships, and evaluation methods. This modelling technique provides a standardised approach to assess the eco-efficiency of a tourism offer from multiple perspectives, enabling the design and incremental improvement of eco-efficiency. The tourism system model in Figure 5.4 is inspired by the object-oriented modelling method to apply modularity.

Second, eco-efficiency aims to reduce environmental impact while fostering economic growth, also known as decoupling (Lonca et al., 2019). Despite criticism that index system methods limit the isolation of indirect influences (Y. Sun et al., 2020), they remain useful for evaluating impacts across scales (Gössling et al., 2005). This aligns with a multidimensional framework combined with a modular approach to structure tourism eco-efficiency applications. Eco-efficiency ratios can be measured using different units, such as impacts per tourist, dollar or functional unit of the product or service consumed. Based on demand, impact extrapolation between perspectives becomes feasible. Although dollar-based ratios do not account for free public resources or activities, visitor ratios consider impacts per visitor experience or functional unit regardless of

price. A modular equation, inspired by the IPAT equation, is proposed to measure the tourism system's impacts, compare its eco-efficiency, and monitor performance.

Third, the carrying capacity plays a central role in tourism eco-efficiency, aiming to sustain economic activities within resource limits before causing irreversible negative changes. In the proposed framework, carrying capacity is recognised as important, but its application is currently limited to linear impacts and thresholds. Finally, eco-labels could be used to communicate eco-efficiency status or improvements. Adopting Type III labels at different scales and perspectives, such as the products and services level, for tour operators or tourists, is encouraged to customise eco-efficiency packages, or at the industry level for a region or a country. This proposal suggests integrating modularity into the framework by De Camillis et al. (2012), offering tourism sustainability standardisation. For instance, it recommends creating eco-efficient packages dynamically by assembling individual products and services modules based on key factors and labelled impacts. The framework has the potential to incorporate eco-labels from different perspectives to ensure coherence and uniformity.

5.5.2 Customisable perspectives and dimensions

The model incorporates various perspectives (viewpoints) within the tourism system and supply chain, encompassing, but not limited to, governments, destination managers, service providers, tour operators, and consumers (Figure 5.3). The approach per perspective emphasises the responsibility within each stakeholder's scope of action. Then, dimensions influence the choice of evaluation tools or combinations (e.g., specific or more general evaluations) to provide a multicriteria assessment reflected in a labelling system.

For instance, a service provider might compare their eco-efficiency performance with that of their peers to enhance their offerings, using the model to study inputs and outputs (resources) throughout the life cycle to offer competitive, eco-efficient products and services. From the consumer perspective (tourist), the model guides eco-efficiency consumption compromises. Despite preferences and constraints, numerous configurations for a more eco-efficient trip are possible, involving selecting service providers based on overall sustainable performance (supplier A versus B), choices among accommodations (hotel A, room 1 versus room 2), activities, restauration and transportation categories. Tour operators, central to the supply chain, promote sustainable tourism development by influencing consumers, suppliers and destinations through their sales volumes and

coordination roles (Sigala, 2008). They can integrate eco-efficient options of products and services into their packages. Although consumer values, preferences and social norms are not directly reflected in the framework, they may be considered through consumption patterns with the general equation by selecting as a preference by choosing certain types of products and services (e.g., the most eco-efficient 5-star hotel for comfort or the least impactful hotel for longer stays). Governing bodies or organizations responsible for promoting, developing, and managing tourism sites or destinations must coordinate and deliver quality offerings while executing development plans (e.g., increasing tourist flow and expenditures). Therefore, they can offer eco-efficient services and public goods consumed by the tourism industry (e.g., national energy or transport infrastructure, tourism information centres, etc.) at various spatial scales (e.g., municipal, regional, and national levels), or for specific impacts or resources that threaten carrying capacities.

As for dimensions, they influence the selection or combination of evaluation tools and interpretations of eco-efficiency or carrying capacity. Certain tools are more appropriate to evaluate specific economic (e.g., micro or macro data) or geographical scales (e.g., global or local impacts), prospective or retrospective scenarios, periods covered (e.g., cumulative impacts or duration), or sustainability scope like the technosphere (e.g., technological change in resource efficiency), ecosphere (e.g., environmental changes) or even sociosphere aspects (e.g., human social interactions). Lastly, dynamic effects can be assessed using non-linear models or simulations with feedback loops.

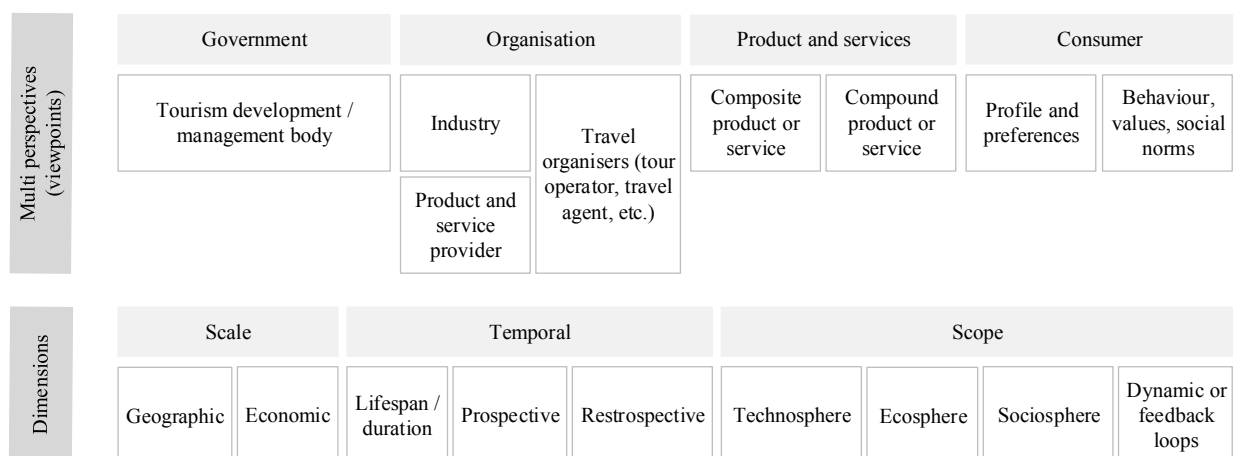


Figure 5.3 Multiple perspectives and dimensions

5.5.3 The Modular Tourism System Model and Composition

The model (Figure 5.4) borrows its structure and principles from the object-oriented modelling method in software development. This method applies the modularity concept within a system by decomposing it into subsystems with shared attributes and understanding their interrelationships to organise the system's modules. Modularity facilitates modelling by reusing a module and its data for new scenarios. This approach models the tourism system and its impact under flexible and simple structures called to evolve by adding modules (represented by boxes).

Moving across the model from left to right, it formalizes the perspective (stakeholders) that control resources through interventions (regulation or strategies) to reduce impacts. The resource consumption impacts stakeholders and the relationship (link) impacts concerns, dimensions and evaluation tools. Impacts vary across environmental, economic, social, and cultural aspects and dimensions. The resource module encompasses both natural and manufactured resources consumed or utilized directly or indirectly by various tourism products and services created and offered on the market. Natural resources encompass food, water, minerals, energy, waste sinks (e.g., the atmosphere for emissions), and landscapes, among others. Manufactured resources encompass a range of goods, including consumable items like cleaning products and oils, as well as capital goods such as infrastructure and equipment. In addition to the resource subcategories, carrying capacities are included.

Next, the products and services offered by distinct industries use or consume one-to-many resources to create one-to-many tourism offers on the market. Touristic basket scenarios are created (one-to-many) from tourism offers to evaluate and compare their eco-efficiency (see section 5.6). Tourism baskets represent specific tourism consumption, such as tourism offers (products and services) or tourism packages. Tourism sub-industries provide tourism products and services, such as accommodations, activities and attractions, restauration, ancillary products and services and transportation. The transportation category identifies modes (air, water, roads, rail) and vehicles with varying resource consumption, technology energy efficiency, and occupation rates. It is a central element of tourism mobility, connecting one destination to many others. Each destination has a unique sociodemographic, socioeconomic, and environmental context that complexifies the compilation of impacts for multi-destination travels, justifying the need to measure one module at

a time. Accommodations typically refer to a star system to indicate quality levels; higher stars usually imply more services (e.g., restaurants, pools, shuttles) with increased quality levels and potential resource consumption. Restauration refers to commercial food service (the primary business), such as restaurants and catering services, as well as non-commercial food service, including in-flight catering. Tourism activities and attractions, engaged in before, during, and after travel, along with ancillary products and services such as shopping, guided tours, financial services, and marketing (Camilleri, 2018), should also be considered when applicable.

The tourism system models scenarios for perspectives, creating instances of the system. For example, a tour operator can combine product and service modules (or options) to create a one-week tourism package. Evaluating and comparing the impacts of this package with another composed of alternative products and services, consuming different resources or even different destinations, would provide information to identify the most eco-efficient tourism package.

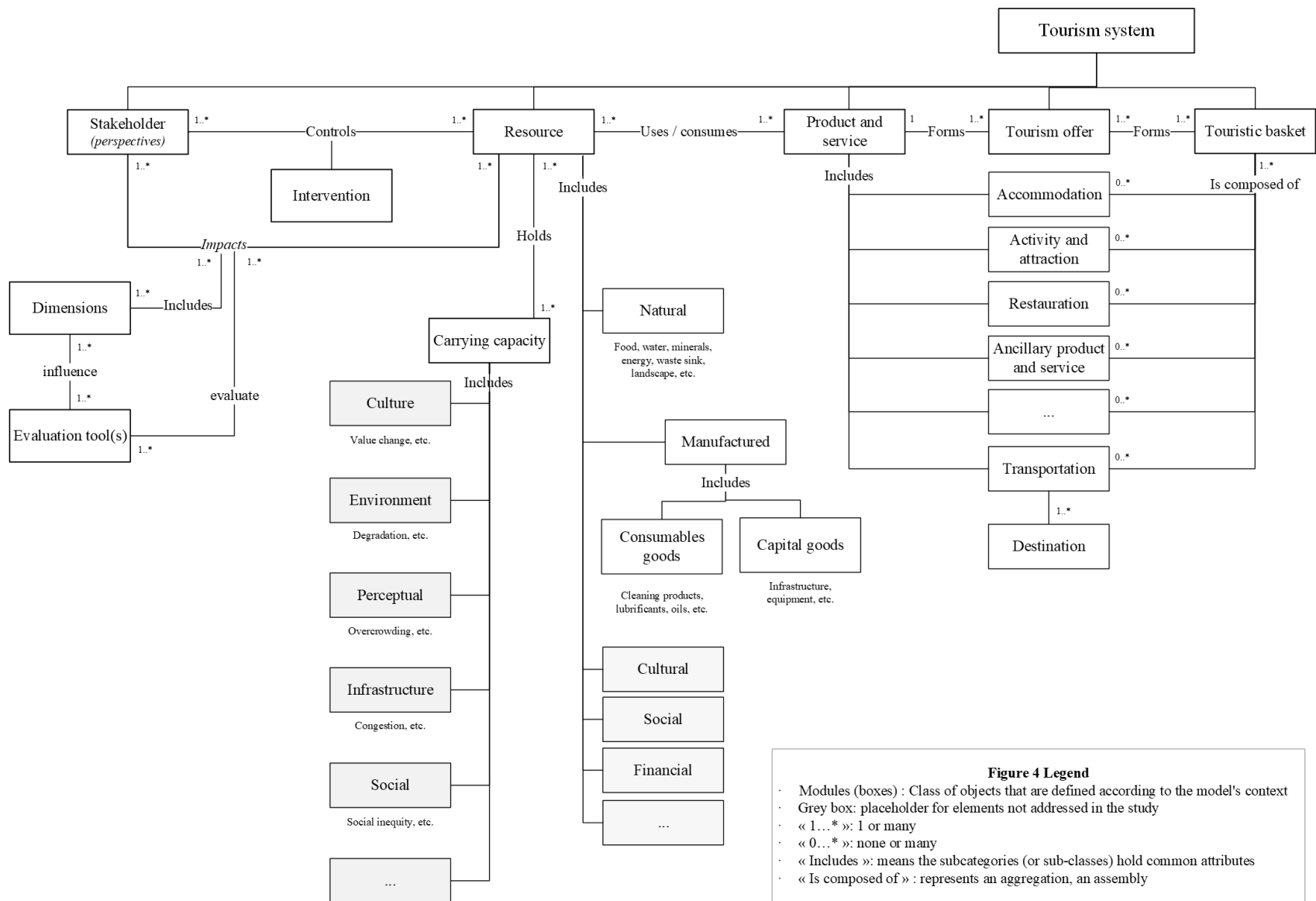


Figure 5.4 Modular tourism system model illustrates the tourism modules and their relationships (links)

5.5.4 Modelling and a general approach for tourism perspectives on eco-efficiency

The modular tourism system model in Figure 5.4 supports the application of eco-efficiency explanatory variables (technological and economic) found in the literature. First, a general equation is proposed to measure tourism eco-efficiency (5.4), inspired by the IPAT equations (5.1) to (5.3) and compatible with life cycle assessment tools. This equation is then applied to two specific cases (Figure 5.5). The environmental impacts, as presented in these equations, are derived from a life cycle approach. This section models the perspectives and dimensions previously defined as part of the tourism system, including the types of impacts to be measured.

The IPAT equation embodies the fundamental concept of decoupling, which is associated with eco-efficiency and carrying capacity, where economic growth and environmental impacts are constrained by limited life-supporting systems (Lonca et al., 2019). Lonca et al. (2019) developed a flexible approach using the IPAT equation to assess decoupling through circular strategies, suitable for multiple assessment scales (e.g., industrial sectors). In this context, the IPAT equation is used to model tourism eco-efficiency by applying modular building blocks to the tourism system's perspectives. Font Vivanco et al. (2014) demonstrate the compatibility of the life cycle inventory and the IPAT equation (5.1). The technological factor decomposition enables smaller-scale evaluations and extrapolation to larger scales, thereby overcoming shortcomings such as the impacts on product and product systems' life cycles (Font Vivanco et al., 2014).

$$i = p * A * T \quad (5.1)$$

$$Impact = Population * Affluence * Technology \quad (5.2)$$

$$(Impact) = p(capita) * A\left(\frac{GDP}{capita}\right) * T\left(\frac{impact}{GDP}\right) \quad (5.3)$$

$$Impact = Tourist * \left(\frac{Tourism\ consumption}{Tourist}\right) * \left(\frac{Environmental\ impact}{Tourism\ consumption}\right) \quad (5.4)$$

From the IPAT equations (5.1) to (5.3), the explanatory variables are adapted to create a reference for the tourism industry under equation (5.4). The latter expresses the impacts of a perspective by

considering explanatory variables such as the population of tourists who consumed tourism activities (affluence) and environmental impacts resulting from tourism consumption (technology). Like a country's GDP increase translating to greater environmental impacts, an increase in tourism expenditures will drive greater environmental impacts unless other variables counterbalance this effect and improve eco-efficiency within clear limits. The variables for tourism consumption encompass touristic baskets, product and service and resource consumption. This multidimensional approach, addressing various impacts and product and service types, ensures robust modelling of the tourism consumption and production system. The model adapts to different perspectives to address stakeholder actions at diverse scales (Font Vivanco et al., 2014; Lonca et al., 2019). From these advancements, the approach is applied across different scales in the tourism industry, using modularity to measure travel packages or their tourism products and services.

From a general standpoint, modularity allows for disaggregating a system into standard parts (modules) with their associated impacts, forming touristic baskets for various perspectives. Standardising modules then facilitates their disaggregation, aggregation and reuse to compare touristic basket scenarios. To facilitate this, key drivers of eco-efficiency are defined under the IPAT equation, along with associated multiplicative factors, as shown in Table 1. The volume of tourists p , identified by vector V , plays a scaling role. The matrices A and B indicate the affluence (consumption levels) of products and services that compose a tourism basket, including night stays, meals, and hours of activities. These are represented by the quantity q of touristic baskets consumed per tourist p , and products and services a included per touristic basket q . These matrices include consumption values that define the distance, duration, and frequency (Y.-Y. Sun et al., 2020). These products or services require resources, therefore, technology factors (resource efficiency) within matrices P and R represent resources consumed d per product or service a and the impacts b per resource consumed d . Then, impact per resource is primarily addressed from an environmental standpoint, but could also consider social, economic and cultural evaluations. The types of impacts are further described in the following section. Finally, the characterisation factors under matrix F group impact b under damage categories j according to life cycle assessment methods or other that would require such aggregation. From equations (5.1) to (5.4) and the key drivers identified in Table 5.1, a general form is proposed using a matrix method, as outlined in equation (5.5). This general equation provides a flexible and robust process, offering detailed levels for various applications. It can adapt to multiple contexts such as perspectives, quantities of

tourists, quantities of baskets compared and consumed per tourist, types and quantities of products and services or resources included, and the types of impact analysed.

$$Impact = VABPRF \quad (5.5)$$

Table 5.1 Tourism eco-efficiency drivers included in the matrix and their respective tourism factors associated (inspired by Sun et al. (2020))

Factors	Volume	Consumption level (affluence)		Resource efficiency (technology)		Characterisation factor (CF)
Matrix (or vector)	V	A	B	P	R	F
Parameters	$[I*I]$	$[I*q]$	$[q*a]$	$[a*d]$	$[d*b]$	$[b*j]$
Tourism factors	Tourists	$\frac{\text{Touristic baskets}}{\text{Tourist}}$	$\frac{\text{PSs}}{\text{Touristic basket}}$	$\frac{\text{Resources}}{\text{PS}}$	$\frac{\text{Impacts}}{\text{Resource}}$	$\frac{\text{Damage category CF}}{\text{Impact}}$

When studied from the supplier perspective, a q supplier touristic basket is a collection of products and services among the a market tourism offers made from a collection of d resources (manufactured or natural). The j impact category per product or service is b impacts per d resource. For example, the d resources consumed by q hotel, such as energy and water, can potentially improve eco-efficiency for a night's stay when choosing alternative energy sources or equipment to reduce water consumption based on b impacts or j damage categories evaluated. The supplier's product or service should be evaluated based on standard functional units agreed upon by the scientific and practitioner communities to ensure comparability (e.g., per square footage, room, tourist or dollar for accommodations). From the perspective of a tour operator or tourist, the touristic basket is modelled as a tourism package comprising various products and services (e.g., 1 night at hotel "x" "y", 2 or 3 room.night, 350 km or 1050 km travel distance by car or train). Therefore, a tourism package consumes resources through the products and services it provides. The total impacts per package equal the sum of the impacts from the products and services provided by suppliers that comprise the tourism package. A vector is used when comparing

multiple package impacts without the scaling factor p . Figure 5.5 illustrates two tree nomenclature scenarios applying equation (5.5). Each scenario is influenced by a specific perspective, representing a tourism stakeholder. In a matrix, unused resources for a product or service are assigned the value 0, while selected products and services are included in a package. The different impact types measured are addressed in the following section. Overall, touristic baskets are compared based on similar experiences. The same package, with additional activities, comfort, and services, may affect eco-efficiency. Similarly, a supplier's products and services may consume more resources, resulting in greater environmental impacts for the same type of experience.

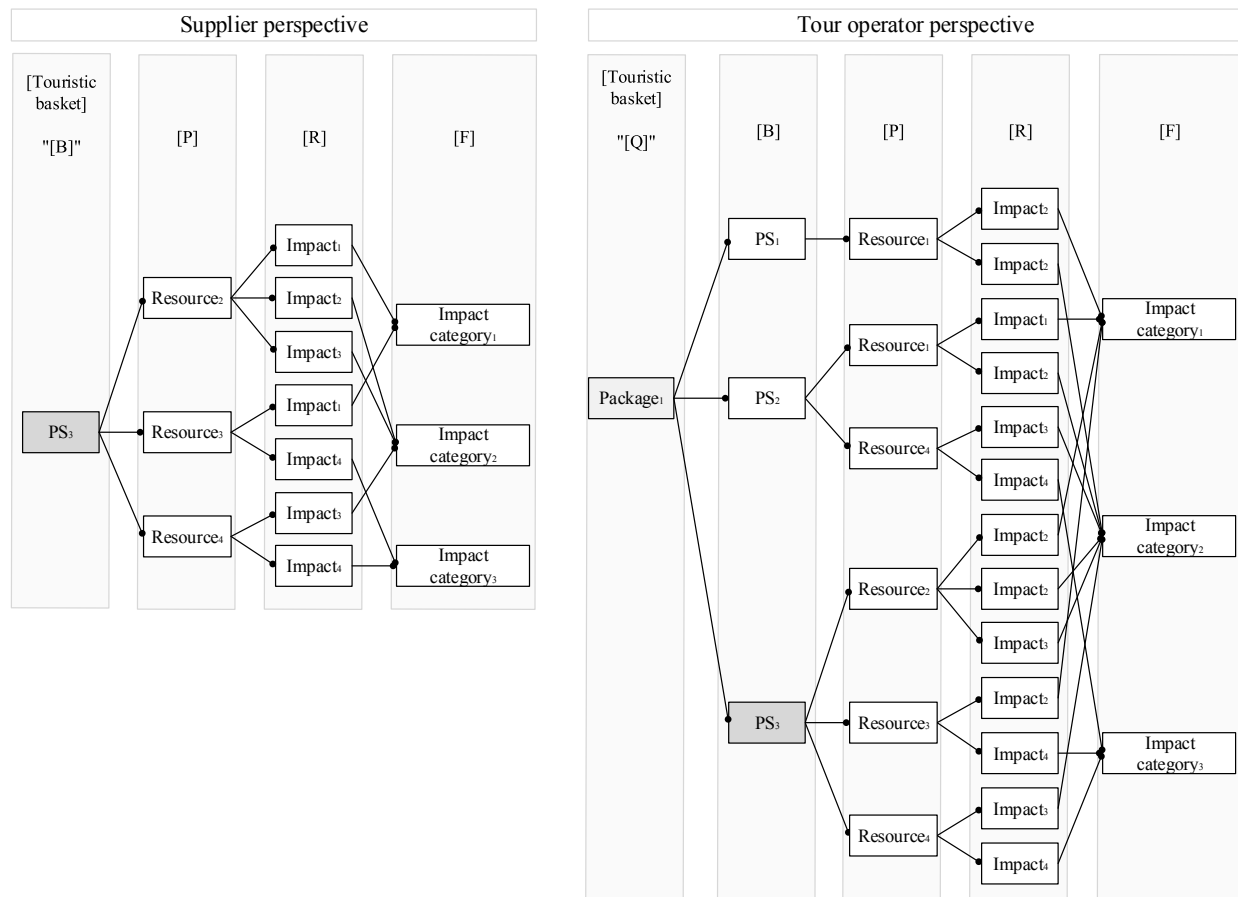


Figure 5.5 Tree nomenclature for a supplier and tour operator perspective

5.5.5 Eco-efficiency impacts and assessment tools

The ratios used to express eco-efficiency impacts are numerous, and combining different tools can help address their respective gaps. The ratios may be described as impacts per resource or product consumed or produced, such as per function delivered for the experience (per hour of leisure, per night, per km travelled, meals or calories, etc.), per package, per person, per group of travellers, per supplier, or per dollar. The life cycle approach considers both direct and indirect impacts throughout the life cycle of the tourism system being studied, as well as a variety of impacts to measure eco-efficiency (Filimonau et al., 2013). The life cycle assessment method IMPACT World+ (Figure 5.6) includes 21 types of damage indicators from the economic system's interactions with the environment, such as climate change damage to human health and the ecosystem quality, water availability to damage on human health, terrestrial and freshwater ecosystems, and land occupation damage on biodiversity (Bulle et al., 2019). This method allows regionalisation of geographic particularities and temporal resolution of impacts over time, which is particularly relevant for the tourism system consuming resources from one destination to another.

Damage on Area of Protection (AoP)		Damage on Area of Concern (AoC)	
Human health (Disability Adjusted Life Year)	Water (quality and availability, m^3)	Carbone (climate change, kg CO^2 eq.)	
Ecosystem quality (Potentially Dissapeared Fraction of species m^2.yr)			
Resource and ecosystem services (kg and MJ)			

Figure 5.6 Environmental damage categories (adapted from Bulle et al. (2019))

To align with the destination-based nature of tourism, Table 5.2 proposes considering the combination of resources or products and services consumed from a manufacturing standpoint (Filimonau et al., 2013) and the specific stages of a service at a destination site (Graedel, 1997).

For an ecolabel scheme, these stages and scopes offer an interesting approach for progressively applying impact evaluations to tourism offers (from manufacturing or service sectors, as well as from sub-products and services to off-site impacts). Given the size and variety of tourism organisations, these elements can be applied gradually.

Table 5.2 Scopes and life cycle stages to evaluate the environmental impacts of the tourism sector (adapted from Filimonau (2013) and Graedel (1997))

Graedel (1997)	Filimonau et al. (2013)	Scope 1 ⁵	Scope 2 ⁶	Scope 3 ⁷	Scope 4 ⁸
Service LCA stages	Manufacturing LCA stages	PS direct impacts	PS indirect impacts	Sub-PS (Scope 1 & 2)	Time (All PS lifespan)
Site and service development and service provisioning (e.g., equipment)	Manufacturing/ Assembly		X	X	X
	Transport /delivery		X	X	X
Performing the service	Use /exploitation	X		X	X
Facility operations (e.g., maintenance)	Maintenance/ renovation		X	X	X
Site and service closure	Disposal/ end-of-life		X	X	X

Then, integrating carrying capacities into the model would require a combination of tools, as demonstrated by Bjørn & Hauschild (2015) or Castellani & Sala (2012), but further development is necessary. The general equation addresses constant marginal impacts within ranges where the impact per additional tourism service provider, product, attraction or tourist is hypothetically the same, and its weight into the carrying capacity “inventories”. To consider carrying capacities in the model, as outlined in equation (5.5), thresholds could be included in the impact matrix.

As done by Schianetz et al. (2007) at the destination level, Table 5.3 identifies tools (not limited to) that could potentially evaluate, measure or simulate eco-efficiency for tourism offers. This paper proposes using life cycle assessment methods to measure tourism eco-efficiency, as a growing number of life cycle assessment studies are employing this approach. It is compatible with the IPAT equation to measure eco-efficiency (Font Vivanco et al., 2014) from different perspectives through modularity (Buxmann et al., 2009; Gadre et al., 2017). It offers extensive

⁵ Scope 1 represents operations from a travel package component, such as air travel, coach car and hotel.

⁶ Scope 2 encompasses the indirect impacts from the life cycle stages of travel package components from manufacturing to end-of-life, beyond scope 1 operations).

⁷ Scope 3 includes the indirect impacts associated with the elements of travel package components (e.g., life cycle for air travel; fuel, vehicle, airport, air travel management).

⁸ Scope 4 considers the temporal dimensions, determining the lifespan of the direct and indirect impacts for each component of the travel package elements.

environmental impact assessment (Schianetz et al., 2007) and provides an overview of environmental trade-offs (Buxmann et al., 2009). Additionally, the combination of assessment tools addresses shortcomings (Schianetz et al., 2007), benefiting the different perspectives addressed by the modular equation (5.5).

Table 5.3 Evaluation tools categories (based on Schianetz et al. (2007) with modifications)

Category	Evaluation tools
Economic tools	Input-Output (I-O) Partial Equilibrium (PE) Computable General Equilibrium (CGE) Data Envelope Analysis (DEA) Eco-efficiency indicators/ratios
Flow analysis	Substance Flow Analysis (SFA) Material Flow Analysis (MFA) Life cycle assessment (LCA)
Environmental tools	Ecological Footprint Analysis (EFA) Environmental Impact Assessment Biocapacity method
Multipurpose tools	Agent-based modelling System dynamics Sustainability Indicators Multi-Criteria Analysis (MCA) Adaptive Environmental Assessment
Reporting and compliance	Greenhouse Gas (GHG) Protocol Environmental Audits

5.6 Discussion

The framework application begins by establishing the constitutive parts that define and model the tourism system from various perspectives, thereby improving the structure of evaluation tools. This section presents the application of the framework from the perspectives of a supplier and a tour operator, serving as examples for evaluating two eco-efficiencies using the life cycle assessment approach. Then, an insight into the framework's suitability over time and changes in the ecosystem, followed by an outline of the framework's limitations.

First, defining the dimensions for the eco-efficiency measurement from a particular perspective initiates the application of the framework for an impact evaluation between the production and consumption of tourism activities. This includes considering scale, temporal and scoping

dimensions to be studied for alternative eco-efficiency solutions, such as for tourism suppliers in a specific city, for prospective scenarios over the technosphere and ecosphere scopes. Then, when modelling the supplier perspective, as depicted in Figure 5.4, the system's model perspective defines itself in a logical sequence. Generally, suppliers select resources to create tourism offers (products and services) which are eventually integrated into tourism packages. Their tourism offers are represented by touristic baskets (matrix B) that can be compared with other baskets comprising alternative resources (e.g., different energy source options for a hotel) before being offered on the market. The model enables suppliers to mix and match resources that best align with their eco-efficiency objectives. Stakeholders control the eco-efficiency performance of their touristic basket by modelling alternatives based on impacts per resource or resource per product or service. Matrices P and R in Table 5.1 and Figure 5.5 guide the selection of resources based on impacts with rigour and structure, specifying what is included for the alternatives. For instance, the proposed example compares two 3-night packages for a single tourist in a city. A hotel room is a service provided by a supplier, comprising resources such as infrastructure, energy (fossil or renewable), water, and maintenance consumables. The hotel selects the resources based on the eco-efficiency performance to compose its touristic basket (service) before commercialising it. Each offer consists of different resources and eco-efficiency performance.

From the tour operator's perspective, the eco-efficiency performance of accommodation options for two 4-day packages (touristic baskets) is compared (Figure 5.7). Other perspectives, such as the government's touristic basket, could include the impacts of government services or resources consumed by tourism industries. This framework offers a variety of applications and interventions at different geographic or economic scales to improve, for example, a destination's label performance. Following the modelling and the environmental impact assessment using life cycle assessment tools (appropriate for this example), equation (5.5) is applied to obtain eco-efficiency performances per visitor for each impact category (Figure 5.7). The framework's modularity then structures information and adjusts the content of touristic baskets, facilitating the measurement of eco-efficiency. Each basket comprises products, services, or resource modules, each with specific attributes and characteristics that influence eco-efficiency measures.

From a practical standpoint, an individual label could be created for every module, aligning with the modularity concept proposed by ISO 14025:2006 (ISO, 2006). This framework could thus serve certifying organisations across various markets by providing eco-efficiency performance

information to improve decision-making from different perspectives. Existing labels tend to be modular, including levels of certification with compliance points (e.g., LEED) or reporting categories of specific impacts such as GHG emissions (GHG Protocol). By breaking down complex tourism systems and standardizing the measurement approach—as formalized in Equation (5.5)—modularity facilitates the assessment of eco-efficiency. Then, combining the LCA method with Equation (5.5) provides a structured basis for qualifying type III ecolabels, thereby supporting informed choices by tourism stakeholders.

As the tourism industry transforms and evolves, the framework is meant to reflect these changes through its flexible and modular representation. Example of changes over time or in the tourism ecosystem are the industry transformations (e.g., virtual tour, collaborative platforms), behaviours (e.g., longer stays), technological innovations (e.g., AI recommendation systems, smart infrastructure, renewable energy), and evolving governance (e.g., policy and regulation) and scientific evaluation tools (provide precision or new ways to evaluate impacts). The framework enables the anticipation and measurement of outcomes from different perspectives, scales, and transformations by modelling the system, accounting for these changes - reflected through increases, reductions, or substitutions in production and consumption in the general equation. The framework also supports more informed, effective, flexible, and adaptive sustainable decision-making by structuring tourism ecosystem information, defining, and measuring the impact of new trends on ecological, social, and economic outcomes.

Just as indicators used in tourism to evaluate its sustainability are influenced by specific socio-spatial context and scales (Torres-Delgado & Saarinen, 2013), the framework allows modelling different scales depending on the perspective considered and defining various dimensions. From these models, building scenarios involves integrating diverse concerns and engaging with experts, tourism actors, and local communities. The framework identifies elements that require further development and consultation with the industry stakeholders in future research, such as evaluation tools, carrying capacity, stakeholder implications and social and cultural impacts. Although studies tend to focus on specific issues, in reality, they are often related or interdependent (Fernandes Martins et al., 2022); therefore, studies should consider evaluating multiple impacts for a comprehensive assessment. This framework anticipates this need. Operationalising the framework would benefit from real case studies to validate and improve its application across different perspectives and tools. The assessment tools presented in Table 5.3 should be reviewed to

specifically guide their use and combinations for tourism perspectives, as done by Schianetz et al. (2007) to assess tourism destinations.

Regarding carrying capacities, this study is situated within a range of constant marginal impacts with thresholds; however, further research should consider the non-linearity of tourism systems. For example, examining how capacity levels influence environmental impact results, such as low impact offers entering a saturated market with limited carrying capacities. Furthermore, improving eco-efficiency can positively impact environmental carrying capacity while also potentially exacerbating other carrying capacity issues simultaneously. This rebound or backfire phenomenon should be investigated to avoid impact displacements. Other questions remain, such as the effect of measured ecolabels on consumption habits while increasing their reliability and credibility, as well as the impact on the industry's profitability and data accessibility.

Finally, integrating the proposed framework with a labelling scheme without overwhelming the industry is a challenge. Tourism ecolabels are abundant in the market, and building on existing ecolabels to achieve greater sustainability in the tourism industry will require additional evaluation and measurement tools to identify needed improvements and communicate progress robustly and accurately. The Global Sustainable Tourism Council (GSTC) has been consolidating consulting efforts for the industry by establishing basic criteria for tourism stakeholders; however, further work is needed to evaluate these measures. To meet these challenges, the framework seeks to offer the flexibility the tourism industry needs to achieve greater sustainability through modularity, one module at a time, as a tool to engage stakeholders and scholars on common ground.

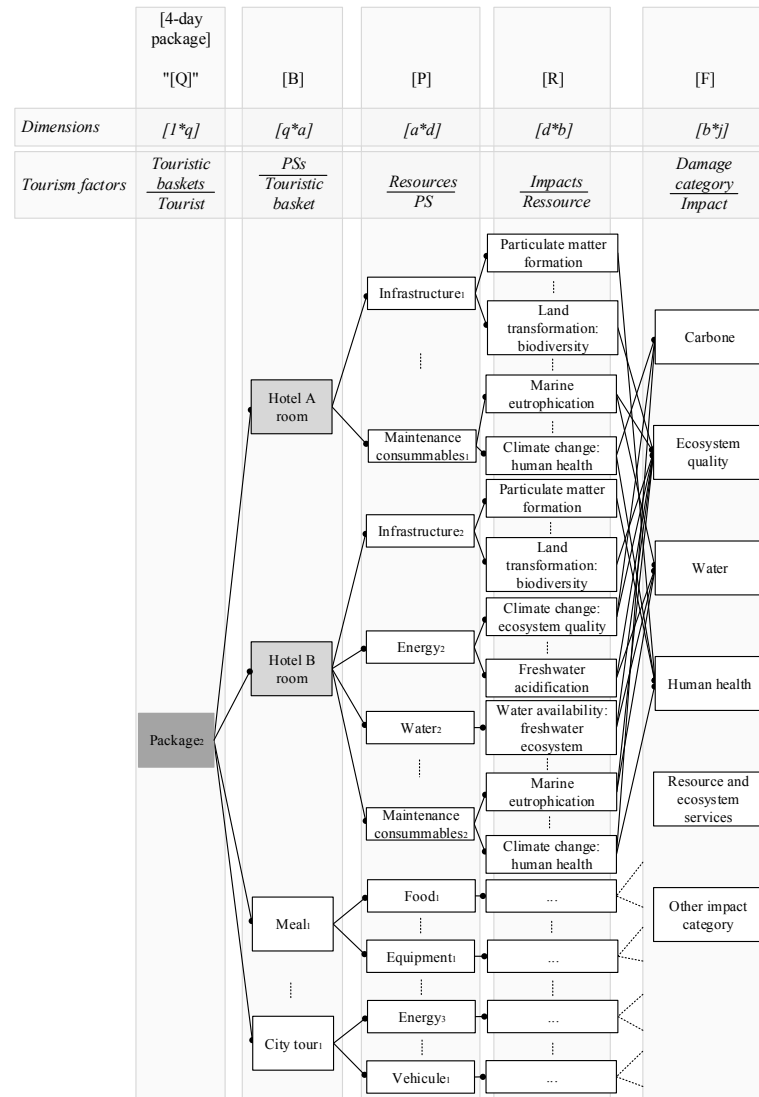
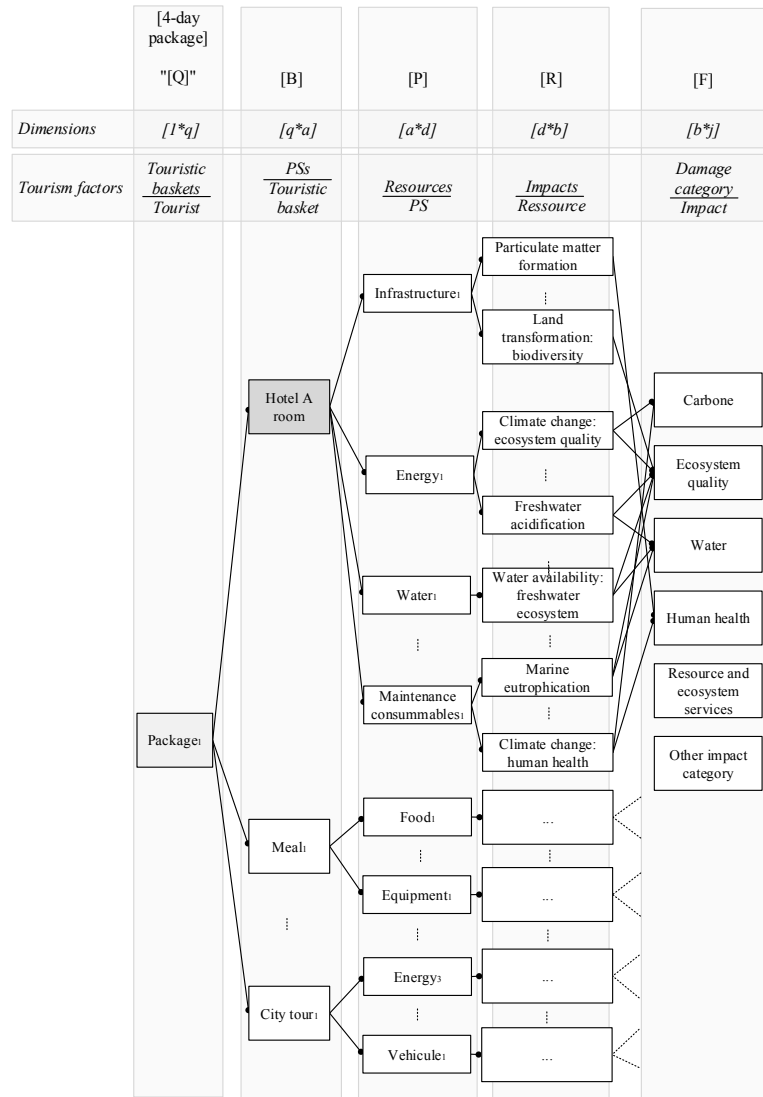


Figure 5.7 Example comparing two 4-day packages to demonstrate the use of modularity visually, and applied with the general equation (5.5)

5.7 Conclusion

The complex nature of tourism calls for adaptive sets of indicators tailored to destination characteristics, the interactions shaping the tourism system, and stakeholders' scope of action to improve sustainability. This adaptability extends to eco-efficiency measures of resource production, consumption, and ecolabels, which vary based on the context and perspectives across the tourism supply chain. Each stakeholder (perspective) controls a scope of action and addresses issues proportional to their capacity to act. However, collectively, within the tourism system, each action contributes to a greater objective. Similarly, Purwaningsih et al. (2020), Torres-Delgado & Saarinen (2013), and Costa et al. (2024) emphasise the necessity of involving a variety of stakeholders to implement actions at all levels for sustainable tourism. The modular approach was studied as an option to improve structure, standardisation and robustness for modelling tourism sustainability evaluation and measurement. Modularity structures and breaks down tourism systems into standard modules that can be assembled on demand to fit each stakeholder's needs, enabling the study of the tourism system model according to evolving sustainability needs, characteristics, and appropriate evaluation tools, as well as various perspectives.

The need to adapt measurement to the application and context is essential in tourism. Consequently, this study proposes a modelling framework that is adaptable to tourism stakeholders (multiperspective) and context (dimensions), allowing for the study of sustainable tourism performance in a holistic, structured, flexible, and systemic manner through modular modelling. The application of two perspectives provides examples (scenarios) to construct a visual model and calculate its eco-efficiency based on a set of impact categories and variables. Once established, a module structure can be reused in another scenario, allowing for the mixing and matching of modules to compare alternative tourism models with varying resource consumption or production. The framework proposes a progressive and standardised approach for various purposes, such as ecolabel applications, with an appropriate architecture that enables the combination of modules, updates, and adaptation to new needs and contexts for different stakeholders or purposes.

CHAPITRE 6 ARTICLE 3 : TOURISM ECO-EFFICIENCY THROUGH A MODULAR LENS

Sarah Teigeiro, Sophie Bernard and Jean-Marc Frayret

Submitted to the *Journal of Sustainable Tourism* on March 19, 2026, en révision.

6.1 Abstract

The inherent complexity of the tourism industry has led to the emergence of numerous ecolabels or environmental calculators, which frequently suffer from a lack of rigour, transparency, and standardisation, thereby hindering the clear identification of more sustainable offerings. To address these challenges, this study proposes a four-step systematic method for applying a modular multidimensional framework to assess eco-efficiency in tourism systems. By decomposing the complexity of tourism systems into distinct modular components, the framework facilitates a systematic evaluation and flexible configuration with standardised eco-efficiency factors. The framework's versatility is demonstrated through two application perspectives, namely, an outfitter as a hospitality service provider and a tour operator, illustrating how modularity enables the development of flexible eco-efficient scenarios across different levels of the tourism value chain. Using the case of halieutic tourism, the findings suggest that outfitter hospitality services transitioning to renewable energy can support a reduction in their environmental impact. However, they should account for potential shifts in impact and consider demand reduction strategies. From the tour operator's perspective, transportation is the predominant source of impacts in tourism packages. While extending the duration of trips decreases impacts on a per-day basis, it increases overall impacts, thus, assessments should also consider annual travel patterns at the individual level and occupation rates of services consumed. This modular approach holds potential to improve the reliability of tourism calculators or ecolabels by fostering standardization alongside adaptability, providing a robust tool for transparent and effective sustainability certification or other means.

Keywords: Tourism sustainability, Eco-efficiency, Modularity, Ecolabels, Service design, Life cycle assessment (LCA)

6.2 Introduction

Despite the pandemic, international tourist arrivals surpassed pre-2019 levels in early 2024 (ONU Tourisme, 2025), indicating continued growth toward the target of 1.8 billion arrivals by 2030 (UNWTO, UNEP, 2019). This expansion increases pressure on natural resources, highlighting the urgent need to keep tourism within planetary boundaries for survival (Eijgelaar & Peeters, 2024). Tourism is a complex system offering diverse service design opportunities, from mass customisation to on-demand personalization – yet this challenges sustainability assessment. It is a heterogeneous network of actors, including governments, destination managers, tour operators and suppliers, that requires a comprehensive, integrative framework capturing multiple perspectives, scales, space and contexts to evaluate and enhance sustainability effectively (Gössling et al., 2023).

Eco-efficiency in this framework requires coordinated stakeholder efforts across different system levels to modify consumption patterns, delivering equal or greater value with reduced environmental impacts that align with planetary limits (WBCSD, 2006). Assessing sustainability at tourism destinations is inherently complex and often demands combining tools to support comprehensive evaluation and informed decision-making. The literature typically evaluates tourism activities and sectors independently due to their inherent complexity, whereas the complexity of tourism packages necessitates assessment tools that provide more nuanced insights than industry-level evaluations (Becken et al., 2003; Filimonau, 2016). On the other hand, ecolabels and certification schemes generally lack transparency (Fernandes Martins et al., 2022; S. Wang & Su, 2022) and the identification of reliable alternatives for tourism package design. Tourism would benefit from a standardized yet adaptable sustainability evaluation approach that integrates stakeholder perspectives and relevant dimensions. This gap underscores the need for further research into mechanisms for effectively integrating sustainable performance (S. Wang & Su, 2022).

To address complexity in design and production, engineering and information technology have adopted modular approaches. A. Bask et al. (2011) mention that modularity reduces strong interdependencies among components sharing common features, enabling flexible combination, substitution, or modification without disrupting the system architecture. It also facilitates product variations in function, characteristics, and performance. Campagnolo and Camuffo (2010) highlight the contribution of modularity to ensure flexible system extension and iteration without

redesign, thereby preserving module autonomy. The literature discusses the application of modularity in product development, production, and supply chains (Avlonitis & Hsuan, 2017; A. Bask et al., 2010, 2011; A. H. Bask et al., 2010; Brax et al., 2017; Micheli et al., 2019; Pekkarinen & Ulkuniemi, 2008). In contrast, modularity in service systems remains less explored. Notable studies include de Mattos et al. (2021), which reviews service modularity concepts, effects, enablers, and methods; Eissens-vander Laan et al. (2016), examining how modularization and service routines influence decomposition logics; and Voss and Hsuan (2009), highlighting the role of modularity in service design and innovation for competitiveness.

While studies in the field of engineering and management address modularity in product systems that support sustainability by improving eco-efficiency and design performance (Groetsch et al., 2021; Gu et al., 1997; Sonogo et al., 2018; Spykman et al., 2021), research on modularity and sustainability in service systems is scarce. Wehner et al. (2020) show modularity in household waste logistics enhances energy efficiency, and Teigeiro et al. (2025) discuss modularity's potential for standardizing sustainability information in tourism. Tourism modularity research primarily targets personalisation, standardisation, and competitiveness (Avlonitis & Hsuan, 2017; Del Vecchio et al., 2018; Voss & Hsuan, 2009). To date, no study has explicitly applied the concept of modularity to sustainability assessment in complex tourism services.

This study addresses this gap by demonstrating how modularity can standardise sustainability measurement in service industries, particularly tourism, improving communication and decision-making. It has two objectives: 1) to propose and apply a systemic and systematic method to characterise a modular tourism system for sustainability, based on the modular conceptual modelling framework by Teigeiro et al. (2025). This framework guides modular modelling of the tourism system, suitable for different perspectives, sustainable dimensions, resources, and sustainability evaluation tools. 2) To demonstrate the method's relevance to apply a flexible calculation framework based on Teigeiro et al. (2025) general equation, enabling absolute environmental performance scales across the tourism supply chain. Essentially, this study presents the back-end work to operationalize a framework for sustainable production and consumption, complementing the framework proposed for tour operators by De Camillis et al. (2012). The method is illustrated via the example of a halieutic tourism case study to analyse two perspectives: (1) the outfitter as a hospitality service provider with energy source scenarios, and (2) a tourism package including accommodation and transportation, offered by a tour operator, as a travel

organiser. The approach produces independent, well-defined modules that form a flexible modelling framework, allowing for the reuse, addition, removal, and modification of modules within or across different perspectives. As one type of application, this structured flexibility enabled the creation of 25 distinct tourism package scenarios derived from diverse module inputs, all comparable in terms of sustainable criteria performance and eco-efficiency.

By structuring environmental impact measurement through modularity, tourism modules and their sustainability evaluations can be standardized, harmonized, and used with flexibility and efficiency. This enhances identification of sustainable options and improves the reliability of communication tools such as ecolabels. The approach is intended for labelling organizations, government agencies, and researchers seeking to integrate standardized sustainability metrics into tourism certification and advance the role of modularity in service sustainability.

6.3 Method

The systematic method proposed in Figure 6.1 facilitates the systemic modelling of the tourism sector for distinct stakeholders by breaking down complexity into manageable and independent modules and supports the identification of sustainability improvements. It allows, for instance, consumers to consider eco-efficiency choices for products and services, suppliers to opt for sustainably sound technologies or resources, or investors to select eco-efficient destinations for their tourism projects. Drawing from the modularity methods phases in the literature (de Mattos et al., 2021; Eissens-van der Laan et al., 2016; Groetsch et al., 2021; Gu et al., 1997; Spykman et al., 2021; Voss & Hsuan, 2009), the proposed method includes four (4) consecutive steps (Figure 6.1) to operationalise the modular modelling framework of tourism sustainability by Teigeiro et al. (2025). The method is also inspired by the Deming cycle, also known as the plan-do-check-act cycle (PDCA), for its continuous improvement approach (C. N. Johnson, 2002). Step 1 defines a system model and then Step 2 decomposes its complexity into manageable modules, defining the module alternatives and their relations. The definition of these steps represents the core contribution of this study. Step 3 provides an adaptive approach to creating and assessing scenarios, utilising modular strategies. Step 4 involves interpreting the results and making decisions. The method leverages modularity to model tourism systems, enabling flexible adjustments without altering the system's structure, supported by the standardization inherent to modularity (Langlois, 2002). These adjustments can be adding, removing, swapping, reusing and scaling modules. For

example, swapping hotel rooms or changing hotel choices during a trip, changing the destination, or adopting alternative transportation modes to improve the overall environmental impact, while maintaining an equivalent or comparable experience. While the primary contribution of this study lies in defining steps 1 and 2, the authors further illustrate the configuration of both systems using empirically derived eco-efficiency results. Data for both perspectives were collected from May to September 2022 through on-site and off-site interviews, observations, measurements, consumption estimates, calculations and data from ecoinvent 3.6 database.

6.3.1 Step 1_System model definition

This step defines two preliminary points for configuring and evaluating the tourism system: the perspective and dimensions. The perspective designates the point of view from which the system is modelled (e.g., government, industry, service provider, tour operator, product or service, or consumer). This situates the system within the tourism ecosystem, which will influence the structure of the modular system based on the scope of action for improved sustainability.

The system dimensions are specified by anticipating the choice of evaluation tool(s) to be used (Teigeiro et al., 2025). They refer to the scale (e.g., geographic, economic), the scope (e.g., technosphere, ecosphere, sociosphere and dynamic effects) and the temporal aspects (e.g., duration, prospective, retrospective). The sustainable objectives to be pursued are part of the scope (e.g., environmental, social, cultural, economic and technological performance). As mentioned by Spykman et al. (2021), “(...) the results are sensitive to methodological choices: thus, these should be carefully communicated during the modular assessment system modelling.”

The choice of a tool or a combination of tools is facilitated once the system specifics and dimensions are defined, once the study’s angle has been established (Schianetz et al., 2007). The selected tool(s) also dictate the indicators for the system analysis, and a combination of tools may be appropriate for a comprehensive evaluation (step 3) and to satisfy ecolabel indicators. Tool selection must account for challenges related to usability, required expertise, data accessibility and collection, and associated evaluation costs.

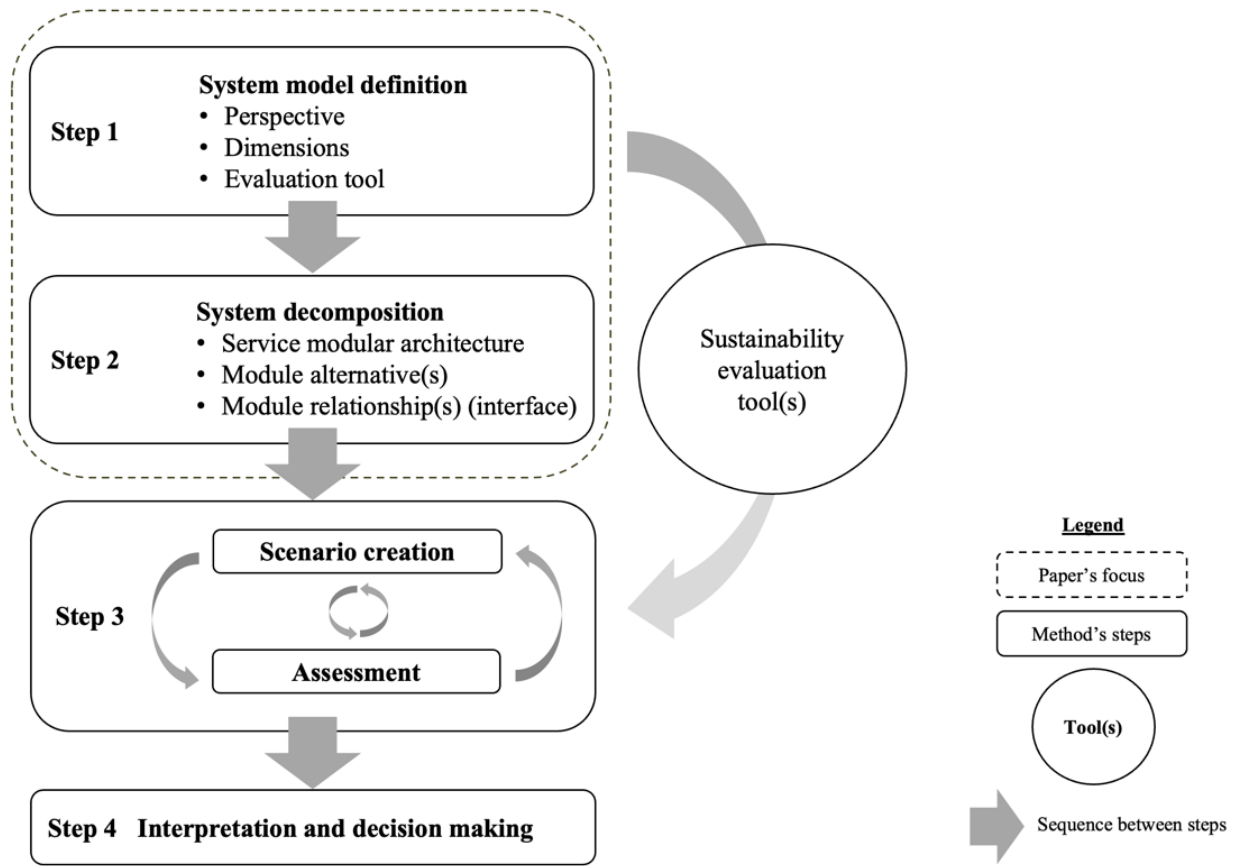


Figure 6.1 The systematic method for service modular modelling

6.3.2 Step 2_System decomposition

This step aims to describe the system's modular architecture, analyse the modules, their alternatives, and relationships within a tourism system. First, the decomposition step visualizes the system's structure from the perspective defined in step 1, using the service modular architecture levels were proposed by Voss and Hsuan (2009), four (4) service architecture levels adapted to the tourism industry based on the modelling framework (Table 6.1). The latter allows us to adapt the module structure to various perspectives, service offers, and consider resources required as part of the architecture, thereby enhancing it from a sustainability standpoint. The system architecture levels can be represented by a tree diagram, accompanied by a module descriptive sheet, which is presented later. Then, module definition entails delineating its boundaries, specifying its purpose

or objective, identifying included components, and outlining alternative configurations with their respective conceptual distinctions.

Finally, the relationships (interface) are defined by the level of dependence between modules, which should be minimised to obtain greater modularity (Eissens-van der Laan et al., 2016). Defining relationships also requires defining module units or component units (considered the smallest unit in modularity (de Mattos et al., 2021), which should be coherent amongst module categories. The unit definition is necessary to ensure uniformity, allowing comparison, replication, combination and/or module scaling to configure scenarios. Description sheets can help keep a record of module descriptions and highlight any differences they may contain.

Table 6.1 Service modular architecture levels (adapted from Voss and Hsuan (2009) and Teigeiro et al. (2025))

0. Industry
1. Service provider/ supply chain
2. Product and service package (one or many products/services offered by many service provider)
3. Product and service composite or bundle (one or many products and services offered by one service provider)
4. Product and service component
5. Resource

6.3.3 Step 3_Scenario creation and assessment

This step offers an adaptive approach composed of two (2) operations: first, by configuring scenarios, which can then be improved following the module or system sustainability assessment. As part of this step, sensitivity analysis and optimisation can be performed to evaluate changes in tourism sustainability factors or improve results.

Scenario creation at the module level involves alternative module configurations that are evaluated independently of the system but will influence its overall performance. At the system level, module configuration, based on its performance, also influences the system's performance. Seamless configuration and comparison of alternative scenarios assume they are evaluated using coordinated units of conversion and sustainability evaluation tools. This operation consists of following the method for the evaluation tool(s) selected that correspond to the sustainability objectives identified

in step 1. Tourism is mainly intangible, centred on experiences that are emotional, sensory, or cognitive rather than material. Nevertheless, these experiences are enabled by tangible modules—such as transportation, accommodation, energy, and infrastructure. Some modules are concrete and directly chosen by tourists, while others operate in the background and remain less visible, especially given the service-oriented nature of the industry. Even the most abstract aspects of tourism are underpinned by concrete resource modules that make them possible, such as a walking tour given by a tour guide.

Eissens-van der Laan et al., (2016) propose six (6) service modularity strategies that offer options to combine and interchange modules, supporting scenario creation in addition to the baseline scenario: share (reuse), swap, cut-to-fit (modify on the fly), mix (predefined options), bus (add/increase and/or remove/reduce), sectional (unlimited combinations). These strategies are addressed as tourism eco-efficiency drivers (factors) in Teigeiro et al. (2025) (Table 6.2) and support the creation of scenarios. By adjusting the four (4) main factors, a baseline scenario can be adapted and scaled to the proper system service modular architecture level of the perspective. The factors are inspired by the IPAT equation (Font Vivanco et al., 2014) and address the volume of tourists, the consumption level per tourist and tourism basket, resource efficiency in terms of resources per product and service, and the impact per resource and impact categories. One or many factors can be addressed to create new scenarios. Tourism baskets represent selected modules to analyse and evaluate, such as tourism packages (trips) or any other specific tourism offers, including hospitality services or transportation, along with their associated resources. System or module scenario creation can be iterative and, therefore, may require adjustments after its evaluation.

Table 6.2 Tourism eco-efficiency factors by Teigeiro et al. (2025)

Factors	Volume	Consumption level (affluence)		Resource efficiency (technology)		Characterisation factor (CF)
Matrix (or vector)	V	A	B	P	R	F
Parameters	$[I*I]$	$[I*q]$	$[q*a]$	$[a*d]$	$[d*b]$	$[b*j]$
Tourism factors	Tourists	<u>Touristic baskets</u> Tourist	<u>PSs</u> Touristic basket	<u>Resources</u> PS	<u>Impacts</u> Resource	<u>Damage category CF</u> Impact

6.3.4 Step 4_ Interpretation and decision-making

Results are interpreted to determine the preferred system modular configuration, focusing on improving sustainability performance or a specific sustainability objective, such as eco-efficiency. These can also consider scenarios that best fit preferences, including quality, comfort, budget, or policies. The scenario results are presented in absolute scales or relative values, based on the evaluation approach and the study's objective. Results can also be normalised to facilitate comparison and interpretation. This proposed methodology is demonstrated in the remainder of the paper through its application in representing tourism systems and services, from two distinct perspectives: a hospitality service provider and a tour operator involved in creating tourism packages. We then propose an adaptable calculation framework for creating absolute scales to evaluate environmental performance.

6.4 Application

The study's research site is located at Réservoir Gouin, Québec, Canada, a typical halieutic location in the Mauricie region of Quebec. Halieutic tourism typically takes place in natural, secluded settings with basic amenities, where fishing is the main activity. While Quebec meets 46 % of its energy needs entirely from renewable sources (Whitmore & Pineault, 2024), outfitters still rely on fossil fuels, and little data exist on the environmental impact of this tourism niche to support sustainable⁹ alternatives.

Within this context, the study explores two perspectives that are presented successively at each step: the outfitter as a hospitality service provider, and the tour operator as a travel organiser. Energy use is the principal focus, with modularity offering flexibility to measure environmental impacts through alternative compositions and configurations. The outfitter perspective models the hospitality services (modules) energy eco-efficiency from an organisational level. The tour operator's perspective assembles eco-efficient tourism packages by integrating evaluated accommodation and transport services (modules) under different scenarios and tourism factors values proposed by Teigeiro et al. (2025).

⁹ The authors recognise that no sustainable tourism offers are sustainable per se, but their status can be improved or become more sustainable than another.

6.4.1 Step 1_System model definition

The first system perspective modelled is that of a hospitality service provider system of the Outfitter type (Table 6.3). Its sustainable objectives are to improve its climate change footprint performance and overall eco-efficiency, reduce its dependence on fossil fuels, logistics costs, and risks associated with potential spills. The measure considered by the organisation, is through energy source and technology change. Therefore, it wishes to evaluate the ideal independent energy source alternative from an environmental eco-efficiency standpoint. Specifically, the scope encompasses interactions between the technosphere and ecosphere, involving both natural environments and manufactured solutions. The life cycle assessment (LCA) approach is a suitable environmental evaluation tool for comparing alternative technological solutions over their entire life cycles in this context. It provides visibility into potential trade-offs and hotspots and is also widely used in environmental product declarations and ecodesign activities (Saadé & Jolliet, 2024).

The second perspective modelled is the tour operator's system, which typically develops tourism packages by selecting products and services from service providers (Table 6.3). Tour operators can influence and promote sustainable consumption (Sigala, 2008) to reduce negative environmental impacts that extend beyond their own operations by influencing suppliers and customers (Budeanu, 2005). This example demonstrates one approach by proposing a range of tourism package scenarios and their environmental performances, based on energy requirements. It is done by assembling variants of the outfitter and transportation services modules. To accomplish this, service modules need to utilize common structures and evaluation tools that will be presented in the following steps, enabling tourism factors to scale appropriately (using the tourism factors proposed by Teigeiro et al. (2025)).

Table 6.3 System model definition

Perspective	Sustainable objective	Dimension	Evaluation tool
Outfitter hospitality service provider Service provider (service modular architecture level 1)	Identify and compare the environmental impacts of alternative energy sources for the outfitter's installation operations. This allows for eco-efficiency performance improvement on the market, reduction of fossil fuel dependence, logistic costs, and risks.	Sustainability scope: Technosphere and ecosphere. Economic scale: organisation level. Temporal relationship: Retrospective based on past data.	Life cycle assessment method (LCA) is suitable for evaluating the impacts of alternative technologies.
Tour operator Product and service package by travel organiser (service modular architecture level 1)	Assemble hospitality and transportation services modules available on the market to create tourism package scenarios and compare their environmental performance in terms of energy consumption.	Sustainability scope: Technosphere and ecosphere. Economic scale: organisation level. Temporal relationship: Retrospective based on past data.	Idem. Assembling modules using the LCA method and scaling modules to create packages with sustainable tourism factors.

6.4.2 Step 2_System decomposition

To decompose the first perspective of the Outfitter's hospitality service and pursue its sustainability objective, the service modular architecture establishes a baseline for identifying the services to be studied within their context (Figure 6.2). Module shading and contours are used to determine the relationships between modules and to identify inclusions or exclusions. On-site activities are present but omitted from the analysis to maintain focus on essential hospitality-related services. Within the service bundle, dependency relationships are drawn based on the nature of the modules. For instance, on-site transport and activities modules are optional, and illustrated by dashed modules, and could be easily removed or added to the structure. On-site transport is included in all scenarios with fossil fuel, while activities are excluded from the system modelled. On the other hand, accommodation and restaurant services are provided by default due to the site's isolated nature. Modules offering alternative options for the system's objective are highlighted with a bold

contour at the resource level, encompassing both manufactures and natural resources utilised by the service system.

The energy type and energy equipment resource modules alternatives for the accommodation and restaurant services will be studied to evaluate the extent to which they influence the system's sustainability objective of eco-efficiency performance. These resource modules may have dependencies, as the equipment may change, including the necessary equipment associated with it and other equipment, such as more energy-efficient appliances (e.g., propane to electric appliances). One needs to be aware of potential dependencies, although modularity aims for independence between modules. The energy resources of fossil fuel (status quo), solar and wind energy and their associated equipment will be evaluated under different scenarios and compared. The components and resource identification within the supplier service bundle provide more granularity to the system composition, allowing for the definition of each module's scope, its sustainable objective contribution, potential variants, units, and specifics (Table 6.4 and Figure 6.3). To address nonlinearity issues that arise with varying occupation rate, it is helpful for a module to hold two defining units, one to calculate results on an annual basis and the second to level average results at the smallest unit based on annual occupation, such as person.night in the case of the outfitter hospitality services. This approach also allows for extrapolating module results to different perspectives with limited data, using proxy data for instance. In addition, this study uses consumption and production units to facilitate comparisons over time and across contexts, rather than dividing the impacts by monetary value (Gössling et al., 2005).

The tour operator's perspective decomposition identifies tourism package bundles of products and services, along with their components and market alternatives, that could influence the package's eco-efficiency performance (Figure 6.4). In this example, the tourism package comprises a hospitality services bundle and transportation to the site at Reservoir Gouin. In the case of a tourism package with multiple destination cities, the tourism package could be separated by city or day. The combinations of market module options by the tour operator could provide eco-efficient performances if data is available. Each outfitter hospitality services option identified offers the standard service objectives of shelter, food preparation, and on-site transportation, with different distinct energy technology profiles (Table 6.5 and Figure 6.5). As modularity seeks independence between modules, the creation of a tourism package respects this condition as distinct suppliers can offer each module and can be personalised. Each module operates independently, but a certain

level of interdependence is required for a complete and seamless tourism experience. For example, transportation to the site is independent of the outfitter's hospitality services; however, transportation to the site is necessary to access the accommodations. Whatever the type of transport (e.g., mode), it is required as part of the tourism package to be consumed; however, the more diverse and available the offers are, the more transportation can find independence in practice and reduce the risk of operational disruption. The variants possible for this destination are by land with an SUV-type vehicle, by boat for the last kilometres, or by helicopter. To gather the necessary information and details, a module description sheet (outfitter hospitality services and transportation options as outlined in Table 6.6 and Table 6.7 respectively) is used to include the module attributes, which will facilitate data gathering to support system scenario evaluation (step 4). The module description sheet can also be used for similar purposes as the food nutritional facts label, without the environmental information, which is what this study could add.

By structuring, defining, and analyzing the perspective's service modules, objectives, relationships, and specificities, we can model the system at each level and identify the distinct sustainable levers adapted to each service modular architecture level.

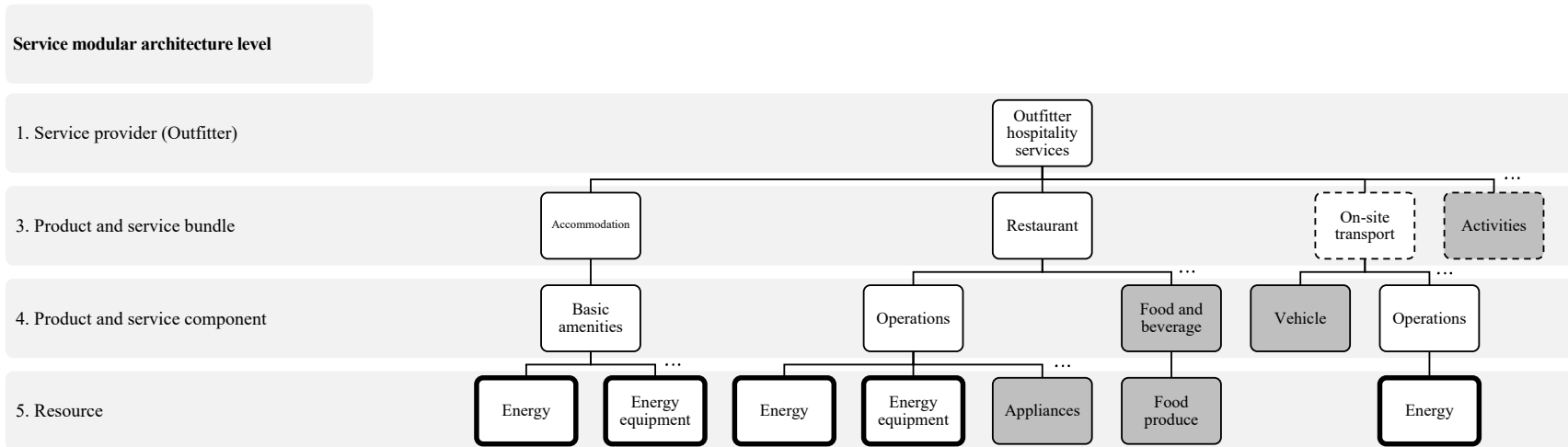


Figure 6.2 Outfitter hospitality services decomposition

Table 6.4 Modules definition for outfitter hospitality services

	Service module			
	Outfitter hospitality services	Accommodation	Restaurant	On-site transportation
Service modular architecture level	Level 1: Service provider	Level 3: Product and service bundle	Level 3: Product and service bundle	Level 3: Product and service bundle
Module definition	On-site service to visitors by offering service a bundle of accommodation, restaurant and on-site transportation.	Module is equipped with basic amenities including housekeeping (sheet cleaning), lighting, heating, potable water, waste management, and internet. The main objective is to offer shelter to visitors.	Module includes operations (food preparation, cooking, storage, and cleaning with dishwasher). The primary objective is to provide three meals a day to visitors.	Module's objective is to transport visitors upon arrival and departure, with equipment. The fossil fuel variant is included as default option.
Sustainable objective	Offer a performing eco-efficient services by evaluating alternative energy sources.	Offer a performing eco-efficient accommodation basic amenities by evaluating alternative energy sources.	Offer a performing eco-efficient restaurant operation by evaluating alternative energy sources.	None

Continued on next page.

Table 6.4 Modules definition for outfitter hospitality services (cont'd and end)

Service module				
	Outfitter hospitality services	Accommodation	Restaurant	On-site transportation
Module alternative	Based on the energy source and its equipment. Outfitter variants based on energy resource scenarios studied: fossil fuel (status quo), solar (photovoltaic), wind turbines.	The energy resource consumed offer the basic amenities. The energy type and its equipment variants studied are fossil fuel (status quo), solar (photovoltaic), wind turbines.	The energy resource consumed offers restaurant operations to take place and the energy type and its equipment variants to be studied are fossil fuel (status quo), solar (photovoltaic), wind turbines.	None
Module unit	Per year Person.night	Per year Person.night	Per year Person.night	Per year Person.night
Module specifics	Composed of accommodation, restaurant and on-site service bundle. Accommodation and restaurant energy sources are dependent (visitors have no other option) and on-site transport is optional but usually consumed upon arrival and departure.	The site is open from May to September (105 days a year). The last kilometres to the site are accessible only by boat or helicopter. The sleeping capacity is 2310 person.day. All rooms are equal.	Similar to accommodation, since it is located within the accommodation installation, and it is dependent on accommodation visitors, as each visitor eats at the restaurant by default. The energy consumed by the restaurant operations is shared with the accommodation, therefore it uses the same equipment, variants and units.	All-terrain vehicles are used

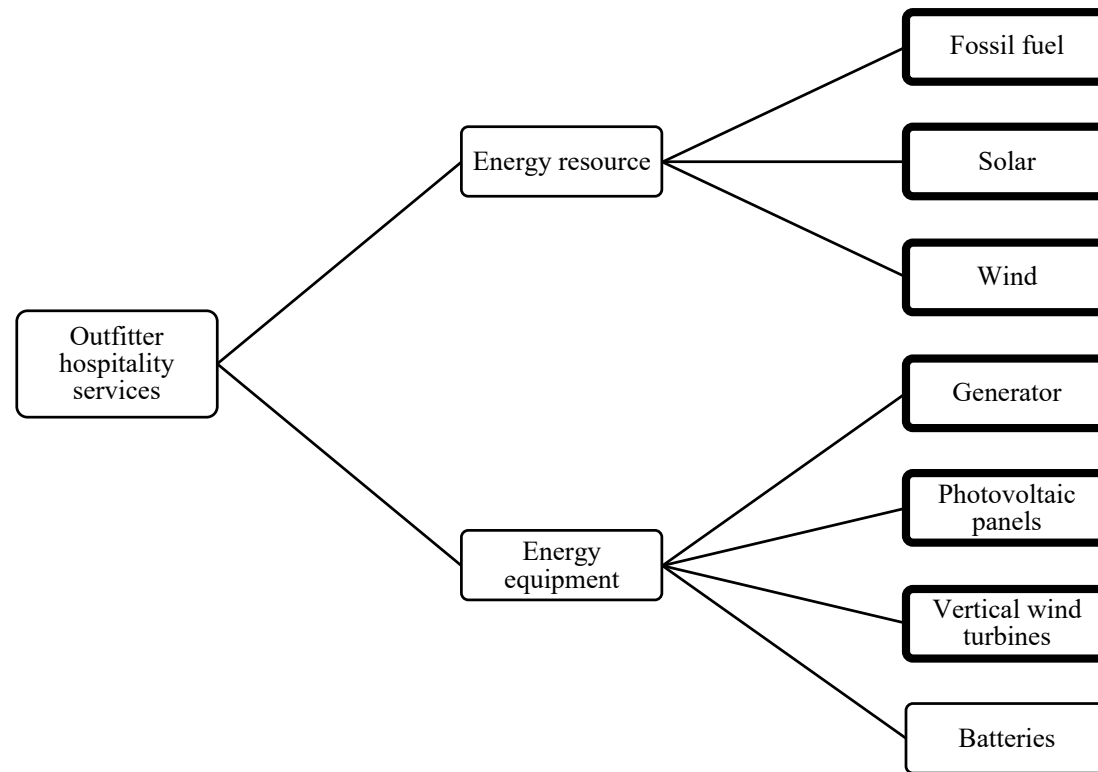


Figure 6.3 Outfitter hospitality services module variant

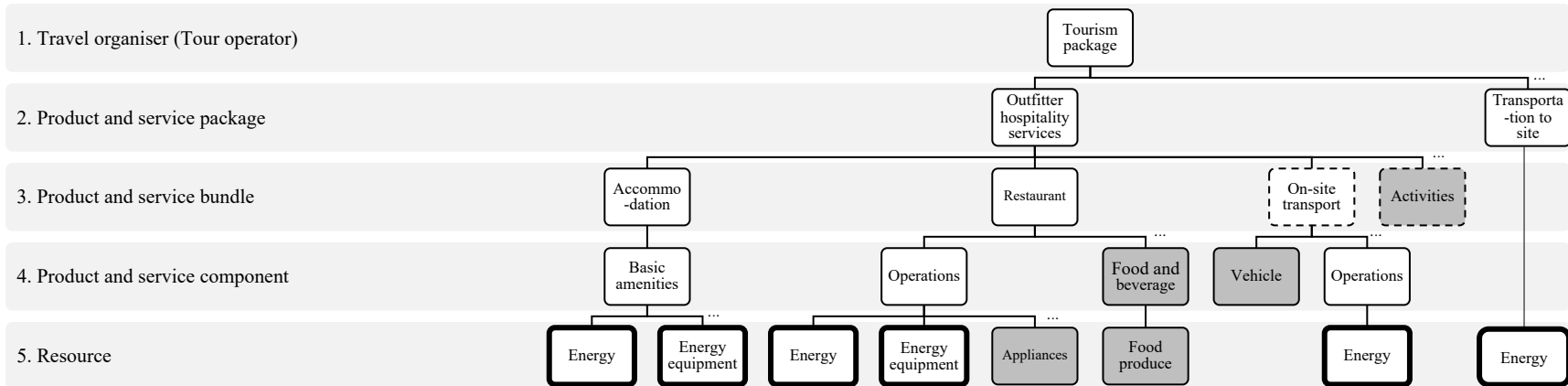
Service modular architecture level


Figure 6.4 Tour operator tourism package decomposition

Table 6.5 Definition for a tour operator tourism package

	Service module		
	Tourism package	Outfitter hospitality services	Transportation to site
Service modular architecture level	Level 1: Travel organiser	Level 2: Product and service package	Level 2: Product and service package
Modules definition	The tourism package offers a tourism experience by providing a combination of outfitter hospitality services and transport to the site.	Includes accommodation, restaurant and on-site transportation. The three modules are considered standard as part of the outfitter hospitality services bundle.	Provides transportation to and from the site, modelled from a fixed departure point, with transfers, to the destination's main site.
Sustainable objective	Offer a performing eco-efficient package by evaluating alternative scenarios formed of alternative service bundles and composite services, based on visitor preferences.	None	None
Module alternative	Outfitter hospitality services (deluxe and basic cottages) and to-site transportation (land, water and air) alternatives available.	Market options to select from their eco-efficient performance based on the energy source and its equipment. Variants range from various combinations of energy sources including fossil fuel (status quo), solar (photovoltaic), and wind turbines.	A combination of land and water transportation modes, or by land and air.

Continued on next page.

Table 6.5 Definition for a tour operator tourism package (cont'd and end)

	Service module		
	Tourism package	Outfitter hospitality services	Transportation to site
Module unit	Tourism.package Person.night Km (from Montreal hub to the Réservoir Gouin destination)	Annual Person.night	Person.km (from Montreal hub to the Réservoir Gouin destination)
Module specifics	Composed of a variety of services and configurations using tourism eco-efficiency factors and modular strategies.	Composed of accommodation, restaurant and on-site service bundle. Accommodation and restaurant energy sources are dependent (visitors have no other option) and on-site transport is optional but usually consumed upon arrival and departure.	The last kilometres to the site are only accessible by boat or helicopter. The transportation to site model departs from Montreal and arrives at the Réservoir Gouin site. Land transport to the airport is included from Montreal. Helicopter transport assumes an empty return upon drop-off, as opposed to a boat trip that picks up visitors upon drop- off.

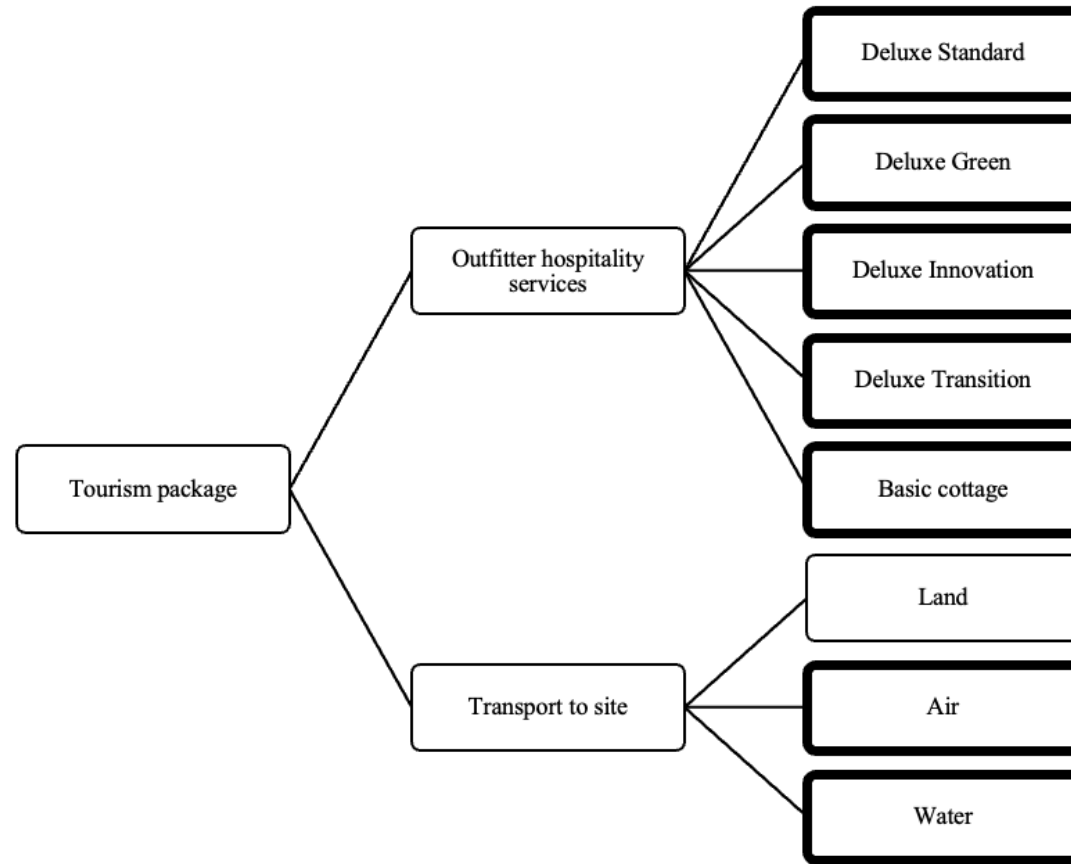


Figure 6.5 Tour operator tourism package module variants

Table 6.6 Detailed description sheet _Outfitter hospitality services

Outfitter hospitality services module options					
	Deluxe Standard	Deluxe Green	Deluxe Innovation	Deluxe Transition	Basic Cottage
Localisation	Réservoir Gouin	Réservoir Gouin	Réservoir Gouin	Réservoir Gouin	Réservoir Gouin
Energy profile	99 % Fossil fuel energies < 1% renewable energy	92 % Renewable energies 8 % fossil fuels	Mix 66 % fossil fuels 33 % renewable energies	Mix 66 % fossil fuels 33 % solar energies	Mix 1 % fossil fuels 99 % renewable energies
Energy technology profile	99 % fossil fuels (36 % diesel and 55 % propane, 9 % gasoline), <1 % solar	92 % renewable (50 % solar and 50 % wind), 8 % gasoline	68 % fossil fuels (93% propane, 7 % gasoline), 32% renewables (50 % solar and 50% wind)	68 % fossil fuels (93% propane, 7 % gasoline), 32 % solar	1 % propane, <1 % gasoline, <1 % solar, 98,8 % wood
Energy equipment	Generator, photovoltaic panels, batteries.	Photovoltaic panels, vertical wind turbines, batteries.	Generator, photovoltaic panels, vertical wind turbines, batteries.	Generator, photovoltaic panels, batteries.	Propane bottles, photovoltaic panels, batteries, wood stove.
Description/ Inclusion	2 stars	2 stars	2 stars	2 stars	1 star
Capacity (person.day)	2 310	2 310	2 310	2 310	735
Occupation rate (2022)	74%	74%	74%	74%	42%
Accommodation star system:					
1 star: Running hot water, lighting, heating, kitchen appliances, fire camp, on-site transport.					
2 stars: Running hot and filtered water, lighting, heating, restaurant, laundry services, internet, fire camp, on-site transport.					

Table 6.7 Detailed description sheet_Transportation options

Transportation module options					
	Vehicle type	Maximum capacity	Distance (one-way km)	Route type	Departure to destination
Option 1					
Land transport	SUV vehicle (model X)	4	140	Transit	Montreal (YUL) to Mont-Tremblant (YTM)
Air transport	Helicopter transport (model Y)	4	241	One-way	Mont-Tremblant (YTM) to Outfitter site (Reservoir Gouin) (round trip for pilot)
Option 2					
Land transport	SUV vehicle (model X)	4	527	One-way	Montreal (YUL) to Réservoir Gouin meet up point
Water transport	Boat (model Z)	4	25	Transit	Réservoir Gouin meet up point to Outfitter site

6.4.3 Step 3 _Module assessment and scenario creation

For both perspectives, this step begins with configuring scenarios, followed by their assessment using an evaluation tool to enable informed decisions. The iterative nature of this step allows continuous improvement of the configuration of scenarios based on sustainable criteria (e.g., environmental, social, and economic), as well as other criteria such as preferences (e.g., comfort, security, quality), beyond the environmental indicators addressed in this study. Modular strategies are applied, along with tourism eco-efficient factors (Table 6.2), used as parameters to create scenarios. In addition to applying modular strategies within perspectives, it has also allowed for the reuse of data across modular architecture levels with unit conversion from annual to person.night units, demonstrating the usefulness of modularity and standardisation.

To ensure methodological consistency, the results for the chosen examples were derived in accordance with Life Cycle Assessment (LCA) principles, while acknowledging that the application of LCA is secondary to this study. The LCA was deployed using the four-step methodology proposed by ISO (Saadé & Jolliet, 2024) and the IMPACT World+ method, which is regionalised globally (Bulle et al., 2019). The ecoinvent 3.6 database, in addition to public information, data collected on-site, and data gathered through interviews, was the primary source of data. The results provide two levels of indicators: for problems related to environmental impacts (midpoint impacts) and for damages representing the potential consequences of these problems on human health and ecosystem quality, described as an area of protection (AoP). Human health is measured in DALY units, which represent the healthy life years lost due to disease or health conditions. Ecosystem quality¹⁰ is measured in m2 PDF.m2.yr, meaning the potential disappearance fraction of all species on a surface in m2 over a year. Three (3) indicators are put forward amongst 18 existing midpoint impact category indicators: fossil and nuclear energy use in MJ deprived and mineral resources use in kg deprived (resource depletion caused by engaged activities), and climate change – short term in kg CO2 eq (i.e., GWP100). The latter is used as a standalone indicator for carbon footprint (as proposed by the ISO/TS accounting methodology 14067:2018 (Bulle et al., 2019)) for greater visibility on this issue and is also included in the

¹⁰ Although considered important to analyse in the context of renewable energy use, the long-term freshwater ecotoxicity midpoint indicator was excluded from ecosystem quality damage category because it is overestimated. The metal emissions in the groundwater compartment has not been determined and the LCIA methods encounter limitations (CIRAIG & DTU, 2023).

damage indicators. Normalised results are presented, comparing each scenario with the highest-impact scenario for each indicator, and the latter is assigned a value of 100%. No ponderation is applied to the damage categories to aggregate under a unique score for each damage impact indicator. The greater the normalised results, the greater the potential impacts; therefore, the smallest normalised results should be prioritised.

6.4.3.1 Outfitter hospitality services perspective

From the outfitter hospitality services perspective, the status quo scenario based on fossil fuels defines the baseline for the system definition (step 1) and decomposition (step 2). Three additional scenarios (Table 6.8) combining renewable and fossil fuel energy alternatives are evaluated using LCA indicators. Only the energy source and energy equipment needed to deliver the same outfitter bundle services analysed in step 2 are evaluated (Table 6.4). Scenario configuration is based on key eco-efficiency tourism factors from Teigeiro et al. (2025), including the quantity of products and services (affluence), defined by the estimated quantity of energy at 209 GJ for the baseline, as well as the technology used (resources and equipment). For example, switching from propane to electric kitchen equipment enhances efficiency and reduces dependence on fossil fuels, thereby altering total energy requirements for the same level of service. Modular strategies in this case involve swapping energy sources and equipment modules, keeping others constant. The outfitter hospitality services system's function for the LCA approach is to provide energy needs for a typical high season (May to September) with an average occupancy of 74%, based on 2022 data.

The outfitter hospitality services alternatives section in Table 6.9 presents annual results for each energy scenario, illustrating the results by colouring the cells from green, yellow, to red from the best to the worst results. In the current status quo, annual energy consumption contributes to 0.13637 years of healthy life lost due to disease or health conditions (DALY) (World Health Organization, 2020) and the potential disappearance of all species in 33,986 m² over a year (m² PDF.m².yr). Over 50 years, this totals 6.8 DALY and irreversible damage to the same land area. Scenario 1, based on renewable energy, improves performance in terms of human health and ecosystem quality damage by 71% and 84%, respectively, compared to the status quo. Scenarios 2 and 3, both composed of 2/3 propane and 1/3 of renewable energy, perform similarly, with Scenario 3 slightly better (5% for human health and 3% for ecosystem quality).

Problem-related impacts indicate that the outfitter status quo profile performs poorly compared to others; it emits 30,589 kg CO₂ eq (short) annually (climate change, short) and contributes to 388,220 MJ deprived from energy consumption (fossil and nuclear energy use). Scenario 1 cuts these impacts by 84% and 85%, respectively. However, it leads to an increase in mineral resource use, with 131.34 kg of depleted mineral resources, primarily due to the materials used in batteries and wind turbines. Scenario 2 improves mineral resource use performance by 20%, while Scenario 3 improves it by 82%, compared to Scenario 1. The status quo presents the lowest impact, with 14,849 kg of resources being deprived, which is 89% better than Scenario 1.

The main contributing processes (Annexe B) vary by Scenario. For fossil-based scenarios (status quo, 2, and 3), diesel and propane combustion and production, as well as battery production and solar panel production, dominate human health, ecosystem quality, and climate change (short-term) issues. In contrast, the key contributors to Scenario 1 are the production of batteries, solar panels, wind turbines, and concrete blocks. For mineral resources, the production of wind turbines, concrete blocks, and batteries has the most significant impact in Scenarios 1 and 2, propane and battery production currently dominate the status quo. Propane and diesel production are the primary contributors to fossil energy use in scenarios that rely on fossil fuels. In contrast, Scenario 1 is primarily influenced by solar panels, batteries, wind turbines, and concrete block production, despite having the lowest overall impact for this indicator.

6.4.3.2 Tour operator tourism package perspective

From the tour operator's perspective, designing sustainable tourism package scenarios requires integrating sustainability assessments from individual service modules. These assessments are dependent on supply chain data provided by upstream suppliers. This perspective enables the demonstration of module reusability across different service modular architectural levels. This is made possible through standardization and the use of functional conversion units, such as person.night. In this context, the life cycle assessment (LCA) results obtained from the outfitter hospitality services (described in the previous section) are reused as proxies to represent accommodation options within tourism package scenarios.

The tourism package module is composed of two (2) service modules: 1) five (5) outfitter hospitality options, ranging from a basic cottage to various forms of deluxe installations with distinct energy profiles, detailed under the description sheet (Table 6.6), and 2) two transportation options to the site (Réservoir Gouin) originating from Montreal, either by car and helicopter (option 1) or by car and boat (option 2) (Table 6.7). The environmental performance of these modules was evaluated through LCA (Table 6.9), and the results are expressed in both absolute and normalized terms (package.year and person.night) to support comparative analysis at both the system and individual levels. This standardization allows module results to be reused across multiple package configurations within the service modular architecture levels. It also ensures comparability across scenarios that differ in duration, group size, or module composition. These modules were then combined into twenty-five (25) distinct tourism package scenarios, organized into five (5) groups that each reflect the application of a specific eco-efficiency factor explained later: resource efficiency, volume, technology, duration, and frequency (Table 6.10). The scenarios also apply four (4) modular strategies in their construct: swap, remove, add and reuse modules. These factors and strategies enable the examination of how variations in package composition influence environmental performance.

The tourism package unit of comparison is defined as delivering an experience for a group of up to four (4) persons during the high season (May to September 2022). The outfitter hospitality services functional unit of providing energy needs for an average person.night was used in addition to the transportation module functional unit of transporting passengers from Montreal to the Outfitter site at the Réservoir Gouin by car, boat or helicopter. As part of the LCA limitations, the

results do not reflect the equivalence between the modules based on secondary functions, such as the additional services that consume energy in Deluxe hospitality services compared to Cottage.

LCA results (section entitled Tour operator alternatives in Table 6.10, expressed in person.night) indicate variations in environmental performance across outfitter service options. In terms of human health impact, the Deluxe Standard option was found to be the most impactful (0.000079 DALY per person.night), whereas the Basic Cottage was the least (0.000009 DALY), representing an 89% reduction. The Deluxe Green option (0.000023 DALY), which prioritizes renewable energy use, outperforms both the Deluxe Transition and Deluxe Innovation options by 16% and 21% (0.000036 and 0.00004 DALY), respectively. Similar trends were observed for other indicators such as ecosystem quality, climate change (short-term), and fossil and nuclear energy use. However, for the indicator of mineral resource use, the Basic Cottage has the lowest impact (0.0007 kg deprived per person.night). At the same time, the Deluxe Green option—despite its renewable energy profile—resulted in the worst impact due to the material intensity of renewable technologies (as presented earlier as outfitter hospitality services scenario 1). The transportation module results (second part of section Tour operator alternatives in (Table 6.10) also reveal trade-offs between module options. Option 1 (car and helicopter transportation) produces 60% less human health impact and 42% lower mineral resource use than option 2 (car and boat transportation) per round-trip.vehicle. Conversely, option 2 is more favourable for ecosystem quality (24% lower impact), climate change (59% lower), and fossil energy consumption (51% lower impact). Annexe C details a sensitivity analysis demonstrating that increasing transport efficiency with greater occupation rates improves the impact performance per person.

In Table 6.10, the twenty-five (25) tourism package scenarios combine the module options into five scenario groups, each testing one eco-efficiency factor. Scenario group 1 serves as the baseline (4 persons, 4 days, car and boat transport). Group 2 explores volume reduction by halving the group size to 2 persons, while Group 3 focuses on changing transportation technology. Group 4 tests the effects of extending the trip duration to twenty-one (21) days, while Group 5 examines the cumulative impacts of increasing trip frequency to twice a year. Across these groups, modular strategies—such as swapping, removing, or reusing modules—are employed to assess their impact on environmental performance. The upper part of Table 6.10 presents results per package.year and the lower part presents results per person.night.

Key trends emerge from the scenario analysis based on package.year. First, as seen in the previous results, incorporating renewable energy in accommodations and reducing consumption generally improves environmental performance across most indicators. However, it often increases mineral resource use due to the embedded impacts of low-carbon technologies. This trend is also reflected in scenario analysis with person.night unit. Mineral resource use is lowest in scenario groups 1 (statu quo), 2 (volume) and 3 (transport technology), with a performance ranging between 70% and 92%, resulting in improvements of between 7% and 70% compared to the worst scenario groups 4 (duration of trips) and 5 (increased frequency of packages consumed). The more renewable energy is used, the more mineral resources are negatively impacted, which comes with extended and repeated trips. Second, scenario group 5 (frequency) generally has the worst performance range across indicators.

In contrast, scenario groups 1 (baseline) and 2 (volume) offer the most stability, in terms of improvement range across indicators, with improvements ranging between 50% and 86%, compared to the worst scenarios across indicators. Between scenario groups 1 and 2, the results also indicate that a lower volume of persons allows a tourism package to perform slightly better, by an average of 6%. Third, scenario group 4 (duration) presents the broadest range of impacts, ranging from 0% to 85%, especially for mineral resource use. Fourth, scenario group 3 (transport technology) performs best overall for human health and mineral resource use indicators (between 50% and 63% and between 76% and 92% respectively, compared to the worst scenario). On the other hand, scenario group 3 performs less than scenario groups 1 and 2 for ecosystem quality, climate change (short-term) and fossil energy use indicators. Overall, the results indicate that selecting renewable energy options for an outfitter's hospitality services improves indicators, except for mineral resource use. Then, when comparing scenario groups, consumption patterns involving increased duration and frequency of trips generally have a more negative impact on indicators than other modular strategies. Impact assessments of tourism packages reflect product and service choices, and to ensure refined insights, per person.night results are also provided.

When results are normalized per person.night, distinct trends emerge across the five scenario groups as they are compared on equivalent units. This approach has its limitations, which will be discussed later. First, scenario group 2 (volume) generally shows higher impact ranges across indicators and includes three of the worst-performing cases in terms of human health, ecosystem quality, and mineral resource use. Although this group achieves a 41% improvement in specific

indicators compared to the overall worst-case scenario, its performance remains generally inferior to that of other scenario groups. Second, scenario groups 1 (baseline) and 5 (frequency) offer the most stability, in terms of improvement range across indicators, with improvements from 35% to 70% compared to the worst-case scenarios.

In contrast, scenario group 4 (duration) demonstrates the strongest range of eco-efficiency gains, achieving reductions of 59% up to 94%. Third, scenario group 3 (transportation technology) offers amongst the best results range for human health impacts and mineral resources use with improvements between 77% and 80% and 28% and 82% respectively, but holds the second-worst performance ranges for ecosystem quality improving results between 27% and 46%, and for climate change and fossil energy use with improvements of 0% to 15% compared to the worst scenarios for these indicators. Overall, low occupation rates tend to have a negative impact on results. While air transport can improve specific impacts, it also has adverse effects on others. Increasing duration improves the impact per person.night.

Attention was given to the transportation to site module, with two additional pieces of information. First, a representation of the transportation proportion within the tourism packages indicates that for 75% of tourism packages, more than 80% of impacts are attributed to the transportation to site module (Annexe C). Then, a sensitivity analysis (Table 6.11) confirms that vehicle occupancy has an influence on transportation impacts for a person.night unit. With four (4) passengers per vehicle, option 1 remains favourable for human health and mineral resource indicators. However, option 2 continues to perform better in terms of ecosystem and climate-related impacts. These findings reinforce the importance of optimizing group size and transport capacity when planning tourism packages. The results highlight that longer trips, fewer trips per year, and full occupancy rates are key strategies for improving tourism eco-efficiency.

Table 6.10 Tour operator tourism package scenario impacts and damages (per package.year and person.night)

Per package.year, normalised %		Modular strategies														
Eco-efficient factors (I = VABRF)	Parameters	1: Hospitality services energy technology. Swap hospitality services**					2: Volume. Remove hospitality services**					3: Transport technology. Swap transportation to site**				
		Group Standard	Group Innovation	Group Transition	Group Renewable	Group Rustic	Double Standard	Double Innovation	Double Transition	Double Renewable	Double Rustic	VIP group Standard	VIP Group Innovation	VIP group Transition	VIP group Renewable	VIP group Rustic
V	Volume (person)	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
A	Frequency (package per person)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	Duration (days)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P	Service compos modules															
P	Transport	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 1	Option 1	Option 1	Option 1	Option 1
P	Outfitter hospitality services	Deluxe Standard	Deluxe Innovation	Deluxe Transition	Deluxe Green	Basic Cottage	Deluxe Standard	Deluxe Innovation	Deluxe Transition	Deluxe Green	Basic Cottage	Deluxe Standard	Deluxe Innovation	Deluxe Transition	Deluxe Green	Basic Cottage
R	Damages on AoP	★2	★2	★2	★2	★1	★2	★2	★2	★2	★1	★2	★2	★2	★2	★1
	Units															
	Human health 100000 DALY	1800 (50%)	1736 (48%)	1730 (48%)	1709 (47%)	1687 (47%)	1736 (48%)	1704 (47%)	1701 (47%)	1691 (47%)	1680 (47%)	804 (22%)	741 (21%)	735 (20%)	714 (20%)	692 (19%)
	Ecosystem quality* 1 PDF.m2.yr	936 (41%)	751 (33%)	740 (32%)	670 (29%)	643 (28%)	778 (34%)	685 (30%)	680 (30%)	645 (28%)	631 (28%)	1135 (50%)	950 (42%)	940 (41%)	869 (38%)	842 (37%)
	Impact midpoints															
	Climate change, short term 1 kg CO2 eq (short)	863 (42%)	698 (34%)	689 (33%)	623 (30%)	606 (29%)	720 (35%)	638 (31%)	634 (31%)	600 (29%)	592 (29%)	1701 (82%)	1536 (74%)	1528 (74%)	1461 (70%)	1445 (70%)
	Fossil and nuclear energy use 0.1 MJ deprived	1389 (47%)	1260 (43%)	1252 (43%)	1082 (37%)	1067 (36%)	1208 (41%)	1143 (39%)	1140 (39%)	1055 (36%)	1047 (36%)	2439 (83%)	2309 (79%)	2302 (79%)	2132 (73%)	2117 (72%)
	Mineral resources use 1000 kg deprived	1165 (16%)	2007 (27%)	1252 (17%)	2251 (30%)	1038 (14%)	1095 (15%)	1516 (20%)	1139 (15%)	1638 (22%)	1032 (14%)	738 (10%)	1580 (21%)	825 (11%)	1824 (24%)	612 (8%)
R	Per person.night, normalised %															
	Damages on AoP															
	Human health 100000 DALY	112 (52%)	108 (50%)	108 (50%)	107 (49%)	105 (49%)	213 (100%)	213 (98%)	213 (98%)	211 (97%)	210 (97%)	50 (23%)	46 (21%)	46 (21%)	45 (21%)	43 (20%)
	Ecosystem quality* 1 PDF.m2.yr	59 (60%)	47 (48%)	46 (48%)	42 (43%)	40 (41%)	99 (100%)	88 (88%)	85 (87%)	81 (83%)	79 (81%)	71 (73%)	59 (61%)	59 (60%)	54 (56%)	53 (54%)
	Impact midpoints															
	Climate change, short term 1 kg CO2 eq (short)	54 (51%)	44 (41%)	43 (41%)	39 (37%)	38 (36%)	90 (85%)	80 (75%)	79 (74%)	75 (71%)	74 (70%)	106 (100%)	96 (90%)	95 (90%)	91 (86%)	90 (85%)
	Fossil and nuclear energy use 0.1 MJ deprived	87 (57%)	79 (52%)	78 (51%)	68 (44%)	67 (44%)	151 (99%)	143 (94%)	142 (93%)	132 (86%)	131 (86%)	152 (100%)	144 (95%)	144 (94%)	133 (87%)	132 (87%)
	Mineral resources use 1000 kg deprived	73 (34%)	125 (58%)	78 (36%)	141 (65%)	65 (30%)	137 (63%)	190 (87%)	142 (66%)	205 (94%)	129 (59%)	46 (21%)	99 (45%)	52 (24%)	114 (52%)	38 (18%)

Legend

Tourism package results midpoint percentile at 50 for coloured results from low (green) to high (red) impact per scenario group

Impact indicators reflect IMPACTWorld+ midpoint level indicators

Normalised results are based on the highest result which is given 100%.

Values are influenced by changes in eco-efficient factors

Dotted square: Eco-efficient factor applied to scenario

*Excludes freshwater ecotoxicity, long term from ecosystem quality damage category.

**Module reuse, swap or addition included as modular strategies

Continued on next page.

Table 6.11 Tour operator tourism package scenario impacts and damages (per package.year and person.night) (cont'd and end)

		Per package.year, normalised %									
Eco-efficient factors (I = VABRF)	Parameters	4: Duration. Add hospitality services modules**					5: Frequency. Add tourist package **				
		Group Standard – long	Group Innovation – long	Group Transition – long	Group Renewable – long	Group Rustic – long	Double Standard x2	Double Innovation x2	Double Transition x2	Double Renewable x2	Double Rustic x2
V	Volume (person)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
A	Frequency (package per person)	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
B	Duration (days)	21	21	21	21	21	4	4	4	4	4
	Service composit modules										
P	Transport	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2
P	Outfitter hospitality services	Deluxe Standard	Deluxe Innovation	Deluxe transition	Deluxe Green	Basic Cottage	Deluxe Standard	Deluxe Innovation	Deluxe transition	Deluxe Green	Basic Cottage
		★2	★2	★2	★2	★1	★2	★2	★2	★2	★1
R	Damages on AoP	Units									
	Human health 100000 DALY	2340 (65%)	2005 (56%)	1974 (55%)	1865 (52%)	1749 (49%)	3606 (100%)	3472 (96%)	3466 (96%)	3419 (95%)	3374 (94%)
	Ecosystem quality* 1 PDF.m2.yr	2283 (100%)	1308 (57%)	1255 (55%)	884 (39%)	744 (33%)	1872 (82%)	1501 (66%)	1481 (65%)	1340 (59%)	1286 (56%)
	Impact midpoints										
	Climate change, short term 1 kg CO2 eq (short)	2075 (100%)	1209 (58%)	1165 (56%)	816 (39%)	729 (35%)	1726 (83%)	1396 (67%)	1379 (66%)	1246 (60%)	1213 (58%)
	Fossil and nuclear energy use 0.1 MJ deprived	2928 (100%)	2247 (77%)	2208 (75%)	1315 (45%)	1239 (42%)	2778 (95%)	2519 (86%)	2504 (86%)	2164 (74%)	2135 (73%)
	Mineral resources use 1000 kg deprived	1753 (24%)	6174 (83%)	2210 (30%)	7455 (100%)	1088 (15%)	2606 (35%)	5974 (80%)	2954 (40%)	6951 (93%)	2100 (28%)
	Per person.night, normalised %										
R	Damages on AoP										
	Human health 100000 DALY	28 (13%)	24 (11%)	24 (11%)	22 (10%)	21 (9%)	112 (52%)	108 (50%)	108 (50%)	107 (49%)	105 (49%)
	Ecosystem quality* 1 PDF.m2.yr	27 (28%)	16 (16%)	15 (15%)	11 (11%)	9 (9%)	59 (60%)	47 (48%)	46 (48%)	42 (43%)	40 (41%)
	Impact midpoints										
	Climate change, short term 1 kg CO2 eq (short)	25 (23%)	14 (14%)	14 (13%)	10 (9%)	9 (8%)	54 (51%)	44 (41%)	43 (41%)	39 (37%)	38 (36%)
	Fossil and nuclear energy use 0.1 MJ deprived	35 (23%)	27 (18%)	26 (17%)	16 (10%)	15 (10%)	87 (57%)	79 (52%)	78 (51%)	68 (44%)	67 (44%)
	Mineral resources use 1000 kg deprived	21 (10%)	73 (34%)	26 (12%)	89 (41%)	13 (6%)	81 (37%)	187 (86%)	92 (43%)	217 (100%)	66 (30%)

Table 6.12 Transportation to site options sensitivity analysis

	Transportation to site options, Normalised results (%)					
	Option 1			Option 2		
	Air and land transport, High speed			Land and water transport, Regular		
	1 p.v	2 p.v	4 p.v	1 p.v	2 p.v	4 p.v
Damage impacts on AoP						
Human health	40%	20%	10%	100%	50%	25%
Ecosystem quality*	100%	50%	25%	76%	38%	19%
Impact midpoints						
Climate change, short term	100%	50%	25%	41%	20%	10%
Fossil and nuclear energy use	100%	50%	25%	49%	25%	12%
Mineral resources use	58%	29%	15%	100%	50%	25%

Legend

p.v : person.vehicle

Tourism package results midpoint percentile 50 for shading results from low (green) to high (red) impact.

Impact indicators reflect IMPACTWorld+ midpoint level indicators.

Normalised results are based on the highest result which is given 100%.

*Excludes freshwater ecotoxicity, long term from ecosystem quality damage category.

6.4.4 Step 4 Interpretation and decision making

Decision-making related to scenario selection based on eco-efficiency performance involves complexity due to the numerous variables and factors at play. Structuring these elements through methodological tools can enhance the personalisation and effectiveness of actions. For example, normalisation helps elucidate subtle differences between scenarios, while the incorporation of sensitivity analysis enhances the robustness of decision-making processes. Following the framework proposed by Teigeiro et al. (2025), sensitivity analysis was integrated in the generation of eco-efficiency scenarios by introducing variations across key factors and modular strategies. From an outfitter's hospitality services perspective, this included evaluating alternative energy profiles. From the tour operator's perspective, variables such as group size, trip duration, transportation modes, occupancy rates, and outfitter hospitality services alternatives were considered. Interpretations and recommendations were formulated for each perspective based on the resulting environmental performance metrics.

At the level of outfitter hospitality services, scenarios integrating renewable energy sources performed better than those based on conventional fossil fuels (e.g., diesel, propane) in most impact

categories, except for mineral resource use. When assessing outfitter hospitality service options from the tour operator's perspective, on a per person.night basis, findings corroborated these results, suggesting that resource-light service options such as a "Basic Cottage"— which demand lower energy inputs—should be prioritized before transitioning to more energy-intensive renewable solutions. While Scenario 1 from the outfitter hospitality services demonstrated the greatest overall environmental benefits, trade-offs in mineral resource usage must be mitigated to prevent burden shifting. Specifically, the use of concrete blocks in wind turbine installations significantly contributed to mineral resource consumption. Exploring alternative materials, such as recycled minerals or concrete blends incorporating recycled glass, may help reduce this impact without compromising other environmental gains. Scenario 3 of the outfitter hospitality services emerges as a viable transitional option toward renewable energy adoption, offering significant reductions in environmental impacts. These recommendations are based on a 74% occupancy rate and are limited to three product-service bundle modules, along with their respective energy and equipment configurations. In terms of short-term climate impacts, these modules align with key operational components identified by Filimonau (2016) and Filimonau et al. (2011), indicating that accommodation operations account for between 70% and 85% of total greenhouse gas (GHG) emissions and therefore should be addressed. These scenario recommendations advocate for the implementation of renewable energy, but do not consider the alteration of landscape aesthetics through large-scale solar panel installations and their impact on the tourism experience. They also do not address the economic feasibility of such investments. Future work should consider financial analyses and the development of supportive instruments (e.g., subsidies, environmental taxation) to promote adoption. Additionally, investigating tourists' willingness to pay for more sustainable options, such as for this kind of tourism (outfitter), would further inform policy and market interventions.

From the tour operator's tourism package perspective, results vary depending on the unit of measurement used—either package.year or person.night. Analysing these units in isolation can lead to misinterpretations and rebound effects, highlighting the need for integrated assessments. The person.night metric allows for cross-scenario comparability on an individual basis but fails to capture aggregate effects as effectively as the package-year measure. For example, results based on person.night unit may encourage longer duration trips, more frequent shorter trips, rather than fewer trips, potentially undermining sustainability goals. On a package.year basis, Scenarios 1 and

2 tend to outperform the least favourable options in Scenarios 4 and 5 across most indicators, suggesting that shorter trips with fewer travellers are generally more eco-efficient. However, when evaluated per person.night, Scenario 2 ranks among the least sustainable for three (3) out of four (4) indicators. Together, these results suggest that travelling in smaller groups with suboptimal occupancy is less efficient. Therefore, longer trips, higher occupancy rates, and transportation via car and boat (Scenario 2 option) appear preferable on a per person.night perspective, assuming a single annual trip between the study's fixed departure and destination points.

As the results demonstrate, transportation to the site accounts for more than 80% of the impacts in 75% of tourism packages, for most impacts, which is consistent with the literature. Energy use remains predominantly dominated by the transport industry in tourism, and the literature also suggests an increase in passenger load factors (Becken et al., 2003). Tour operators can positively influence tourism eco-efficiency in tourism supply chains by configuring tourism packages differently and incorporating improved eco-efficiency products and services (Sigala, 2008). Considering that 77% of revenues generated by halieutic tourism outfitters in Canada were through tourism packages in 2001 (Uto vac, 2003), integrating this level of visibility through an ecolabel could improve a non-negligible proportion of this industry's consumption. From a broader urban and tourism planning standpoint, further investigation into the full life cycle impacts of transportation modes is warranted. A study conducted in France (de Bortoli & Féra ille, 2024) indicates that air travel has the highest environmental impact, followed by private car use, carpooling, coach travel, and high-speed rail, in descending order of environmental burden. Incentives to influence consumption should consider the factors demonstrated earlier. For instance, increasing the occupancy rates of vehicles should be considered in policies, as currently high season prices with high occupancy rates tend to be more expensive than travelling during the low season with lower prices, lower occupancy rates, but a greater environmental burden per person. On the other hand, local policies should also keep a close look at how visitor flow influences socioeconomics.

Overall, the findings suggest that to enhance eco-efficiency, tourism packages should aim to maximize occupancy, promote more extended trips only if traveling less often, and reduce the frequency of travel. The study excluded the point of origin of tourists, which could alter results, particularly for long-haul air travel. In 2001, international visitors (primarily from the United States of America) accounted for 64% of the clientele at Canadian outfitter and hunting sites, compared

to 36% of domestic visitors (Utovac, 2003). Findings from Gössling et al. (2005) emphasize the importance of source markets in determining tourism sustainability, where long-haul travel deteriorates tourism's global average eco-efficiency; therefore, domestic tourism could yield more sustainable outcomes. The results further resonate with the "slow travel" movement, which promotes conscious travel in relation to sustainability issues, prioritises longer trips in fewer destinations to immerse oneself in the culture and experience, and within shorter distances of travel (Dickinson et al., 2011), thereby distributing travel-related impacts over more days. This movement only reduces overall impacts if travelling occurs less often. Although social impacts were not considered in this study, future research should evaluate the broader socio-economic implications of promoting longer and less frequent trips. In summary, the assessment highlights the inherent complexity in assessing the sustainability of tourism packages, given the multitude of interacting variables and perspectives. The present study offers a structured approach to exploring these dynamics, recognizing that, from an environmental standpoint, the most sustainable travel scenario remains non-travel.

6.5 Discussion

This study introduces a four-step systematic methodology for characterising tourism systems within a modular, multidimensional, and multiperspective modelling framework to support the assessment and standardization of sustainability and eco-efficiency information. The method facilitates a uniform framework definition across multiple perspectives, utilising consistent tools, templates, and modules, which enables the creation of diverse scenarios that inform eco-efficient decision-making. The cases of an outfitter hospitality service provider and a tour operator are used to demonstrate its multiperspective and flexible application.

The choice of modularity as the fundamental concept supporting both the framework and the method stems from the complexity of the tourism industry. It necessitates a comprehensive approach to assess and communicate its environmental footprint. The study further demonstrates that dividing a service system into standard components and configuring them in various ways improves both efficiency and performance (Voss & Hsuan, 2009) from a sustainability posture. It enables the more efficient use of standardised inputs and allows for a better understanding of how to improve energy efficiency, thereby improving environmental sustainability (Wehner et al., 2020). Without reusable results and factors to configure tourism scenarios, it is nearly impossible

to claim that a tourism product, service, package, or other module performs environmentally better than another, especially considering the numerous variables that come into play. The method relies on modularity methods proposed in the literature, mainly in operational management and engineering contexts (de Mattos et al., 2021; Eissens-van der Laan et al., 2016; Groetsch et al., 2021; Gu et al., 1997; Spykman et al., 2021; Voss & Hsuan, 2009) and employs a service modular architecture to facilitate information transfer between perspectives and units of measurement. For example, accommodation-level metrics can be translated into a person.night equivalents to support package-level assessments and informed decision-making.

The method's application across two distinct tourism perspectives demonstrates external validity and reproducibility through a sequential and transparent four-step process. Methodological rigour is reinforced throughout the proposed steps, as evident in the explicit definition of modules and their interrelations. System decomposition, guided by an adapted service modular architecture, facilitates the management of complexity and the establishment of cross-perspective linkages, thereby supporting the application of modular strategies. This hierarchical organization clarifies interconnections within tourism supply chains. For example, modules developed from outfitter hospitality scenarios were subsequently reutilised or multiplied (modular strategies) within tour operator package scenarios, and the evaluation and selection of alternatives based on eco-efficiency performance.

Modular strategies, adapted from Eissens-van der Laan et al. (2016), further support the explicit identification of eco-efficiency factors within scenario development, thereby enhancing the capacity to design actionable and independent interventions. This facilitates accessibility for hospitality service providers seeking to improve the environmental performance of their services by exploring alternatives, such as energy source alternatives. Otherwise, tour operators may adjust packages through targeted modifications, such as substituting accommodation or transportation modules, or capturing tourism eco-efficiency factors influenced by consumption behaviour or preferences, for instance. The tour operator tourism package example enabled the identification of twenty-five (25) alternative scenarios related to five (5) tourism eco-efficiency factors, each with two (2) units of measure, for a more thorough analysis. In addition to outcomes of specific scenarios, general trends were observed for the Outfitter stay and itinerary from Montreal to the Reservoir Gouin. Travelling in smaller groups with suboptimal occupancy is less eco-efficient. Whereas, for a single annual trip analysed, longer trips, land-based travel, and higher transportation

occupancy rates were preferable per person.night basis. When considering results per package.year scale, fewer travellers, shorter trips and lower annual tourism package consumption appeared advantageous. Overall, these results suggest that less frequent travel, combined with high occupation rates and extended stays at hospitality service providers that utilise renewable energy and account for impact displacement, constitutes a more eco-efficient strategy. Notably, transportation accounted for the largest share of total impacts in the tourism package scenarios studied, highlighting that both transportation modes and their occupancy rates are determinants of tourism package eco-efficiency.

The iterative nature of the scenario creation step in the proposed method promotes continuous refinement and the extension of models through the operationalisation of the flexible and evolving modular modelling framework for tourism sustainability (Teigeiro et al., 2025). Among its advantages and utilities, the generality of the framework and method allows generalising the approach among multiple stakeholders, fostering multidisciplinary collaboration (Miller & Torres-Delgado, 2023). Such versatility expands the applicability of the method across different study objects within tourism systems. Furthermore, the methodological approach developed in this study addresses recent calls for a harmonized yet adaptable framework for sustainability assessment in tourism. Miller and Torres-Delgado (2023) emphasise that a global consensus on such a framework must incorporate flexibility to accommodate diverse regional and sectoral contexts. In contrast, Gössling et al. (2023) advocate for simplification and enhanced comparability of emissions accounting to strengthen collective learning among tourism stakeholders.

Despite the contributions of this study, several limitations and avenues for further development remain, particularly regarding the standardisation of the framework, methodological completeness, and practical applicability. Establishing modules as industry standards will require international consensus to ensure coherent application and broader adoption. The framework currently does not explicitly address uncertainty, sensitivity analyses are limited, variability across LCA methods is untested, and comparative studies involving additional perspectives are needed. The initial phases remain accessible to organizations and certification bodies, facilitating the structured identification of essential information. Nonetheless, stakeholder feedback is necessary to assess usability across varying expertise levels. While literature highlights the value of integrating multiple assessment tools, this study operationalized the framework solely through environmental Life Cycle Assessment (LCA), leaving its adaptability for complementary tools untested. Future research

should explore diverse instruments to enhance methodological robustness, address additional sustainability dimensions—including social indicators (Miralles et al., 2024)—and support more nuanced scenario analyses. The limited scope of this research did not include direct engagement with the Atikamekw Nation. Future studies in this region should actively collaborate with the Atikamekw, while also recognizing the broader importance of incorporating Indigenous Peoples in Canada and internationally. Integrating Indigenous governance systems and knowledge frameworks is essential for capturing socio-economic impacts, advancing community well-being, and strengthening the relevance and legitimacy of sustainability research. Addressing these limitations through broader testing, stakeholder engagement, and tool integration will be essential to strengthen the framework's robustness, adoption, and capacity to guide sustainable transformation in tourism systems.

Overall, the proposed methodology provides a systematic, reproducible, and flexible approach to modelling complex tourism systems, enabling multiperspective sustainability assessment and evidence-based, eco-efficient decision-making. By integrating modularity, scenario analysis, and cross-perspective linkages, the framework advances both theoretical understanding and practical tools for sustainable tourism management.

6.6 Conclusion

In conclusion, this research addresses the inherent complexity of the tourism industry, which has led to chaotic situations such as inconsistent sustainability interpretations, the use of a large number of assessment tools, challenges in modelling tourism systems and the proliferation of ecolabels. The latter are often characterized by irregularity, lack of transparency, and insufficient standardization, thereby complicating the identification of genuinely more sustainable offerings. To overcome these shortcomings, this study proposes a systemic and systematic methodology for characterizing a modular tourism system to enhance sustainability. Drawing on modularity concepts from information technology and engineering fields, this approach enables the decomposition of complex tourism systems into manageable, minimally interdependent modules. This facilitates a systematic evaluation and adaptation of eco-efficiency factors through flexible modular configurations.

The application of this modular framework from two distinct perspectives — as an outfitter hospitality services provider and a tour operator offering tourism packages — has demonstrated its

versatility in modelling system modularity and configuring various eco-efficiency scenarios, with a primary focus on energy consumption. The study enables the isolation of modules, such as energy sources for accommodation services, which indicate that renewable energy sources generally outperform those based on fossil fuel-based ones across most impact categories, with the notable exception of mineral resource use. The "Basic Cottage," a less energy-intensive option, emerged as a priority for energy efficiency amongst the alternatives identified. For tour operators, the analysis revealed that results vary depending on the unit of measurement used (package.year or person.night), underscoring the necessity of integrated assessments to avoid rebound effects that could counteract sustainability objectives. It also demonstrates how the use of factors and the application of modular strategies enable the influence of tourism package eco-efficiency performance. Overall, it is suggested that tourism packages should aim to maximize occupancy rates, promote extended trips, and reduce travel frequency to enhance eco-efficiency. The method offers a standardised and holistic approach for tour operators to evaluate tourism packages, which would otherwise be cumbersome (Filimonau, 2016).

Modularity is an asset for enhancing the reliability of ecolabels by fostering both standardization, flexibility and transparency. It not only facilitates the comparability and credibility of sustainability information but also enables the reusability of data and information transfer between different perspectives and modular architecture levels. This framework allows for the prioritization of key impact modules [such as accommodation and transport, which are tourism sustainability "hotspots" (Eijgelaar & Peeters, 2024; Y.-Y. Sun et al., 2024; Tsai et al., 2014)]. It also supports informed decision-making by enabling the evaluation and comparison of different modular configurations guiding choices for consumers, suppliers, tour operators, and investors. The potential for extensibility of the modular framework beyond initial energy consumption to include other resource modules (e.g., natural, manufactured, cultural, social, and financial), product and service modules, indicators, and even evaluation tools demonstrate its versatility and capacity for comprehensive sustainability assessment.

This research makes an original contribution to the service design literature by proposing a flexible calculation framework to measure sustainability performance, modelling the tourism system through a multi-perspective and modular approach. It demonstrates the application of modularity for sustainability purposes in services, a domain where previous studies have mainly focused on benefits related to products. Despite its contributions, the study acknowledges certain limitations,

notably challenges related to data availability and transparency. Establishing modules as industry standards will require consensus among researchers, labelling bodies, and practitioners. Future research should focus on fostering such alignment to support methodological harmonisation and reduce risks of misleading sustainability communications, such as greenwashing or greenhushing (Font et al., 2017). Future contributions will also need to explore the integration of complementary tools and more in-depth sensitivity analyses to fully validate the approach and to incorporate economic and social dimensions. Nevertheless, this study offers a structured and adaptable approach for evaluating tourism sustainability, acknowledging that, while non-travel remains the most sustainable scenario from an environmental standpoint, continuous improvement of tourism eco-efficiency is imperative given the sector's ongoing growth.

CHAPITRE 7 DISCUSSION GÉNÉRALE

Afin d'améliorer les communications environnementales et de répondre à la problématique de l'écoblanchiment dans l'industrie touristique, cette thèse vise trois objectifs spécifiques. Comme premier objectif spécifique, cet ouvrage identifie les enjeux des écolabels face à la complexité de l'industrie touristique et étudie le potentiel de la modularité. Ensuite, un cadre de modélisation systémique modulaire, multiperspective et multidimensionnel est développé et permet de structurer la mesure de la durabilité de l'industrie touristique. Finalement, une méthode d'application systématique et modulaire est développée et opérationnalisée dans le but de caractériser des systèmes touristiques.

Dans son ensemble, cette thèse se veut structurante afin d'accroître la standardisation et d'organiser les informations relatives aux mesures avec lesquelles composer, et d'améliorer la communication environnementale et, par conséquent, la prise de décision concernant la production et la consommation de produits et services touristiques. De manière générale, cet ouvrage répond à un besoin d'obtenir davantage de données sur la performance et la durabilité des produits et services, qui reposent aujourd'hui principalement sur les pratiques organisationnelles, ainsi que sur le manque de vision systémique des outils et cadres actuels (Buckley, 2002; Elhoushy et al., 2025; Font, 2002). En ce sens, cette recherche contribue à améliorer les communications qui, rappelons-le a pour devoir de protéger l'intégrité de l'information pour permettre des réponses appropriées face à la crise écologique, d'assurer sa transparence et de dénoncer les représentations trompeuses (Cox, 2007). De plus, les travaux étudient comment le concept de modularité peut contribuer à ces efforts de standardisation, de mesure et de communication environnementales flexibles, tout en préservant une rigueur. Alors que la recherche sur la modularité s'intéresse souvent à des applications de production industrielle (Avlonitis & Hsuan, 2017; Eissens-van der Laan et al., 2016; Groetsch et al., 2021; Gu et al., 1997; Spykman et al., 2021; von Drachenfels et al., 2023; Voss & Hsuan, 2009), cette thèse propose son application aux services touristiques complexes pour la durabilité et à la communication environnementale.

7.1 Retour sur les résultats

Dans un premier temps, une revue de la littérature narrative systématisée a permis d'identifier les principaux défis des écolabels face à la complexité de l'industrie touristique et d'étudier le potentiel de la modularité pour y répondre. Cette contribution identifie les attributs souhaitables des

écolabels (i.e., crédibilité, intégration aux instruments politiques, flexibilité, uniformisation, robustesse et accessibilité) pour les principales thématiques d'enjeux des écolabels (i.e., gouvernance, conception harmonisée, iniquités et inégalités), tout en précisant ceux essentiels face à la complexité du secteur. Ces derniers sont la coordination accrue entre gouvernements et organismes, une vision systémique intégrée, ainsi qu'une capacité d'interopérabilité standardisée, mais personnalisable selon les contextes locaux et les diverses sous-industries.

À partir de ces constats, l'évaluation des caractéristiques de la modularité (i.e., la hiérarchie, la décomposition, la standardisation, la transparence, la flexibilité et l'efficience) suggère un potentiel pour la gouvernance grâce à une architecture de sous-industries et de services standardisés par la décomposition et à une meilleure association des normes au sein d'une architecture commune, offrant ainsi une vision systémique. Pour les enjeux d'harmonisation, les résultats suggèrent des critères modulaires transversaux, ainsi que le potentiel d'offrir une mesure robuste et l'interopérabilité grâce à la caractérisation de chaque module. Finalement, la modularité pourrait offrir un potentiel pour structurer progressivement et adapter l'application des critères et des mesures aux contextes locaux, un module à la fois, favorisant ainsi l'accessibilité. Ce potentiel théorique permettrait de répondre aux recommandations de la littérature, notamment pour plus d'harmonisation, de standardisation, de transparence, ainsi que pour évoluer de l'évaluation des pratiques vers celle des impacts des produits et services touristiques (Buckley, 2002; Elhoushy et al., 2025; Font, 2002).

Alors que la littérature rapporte l'inadaptation des écolabels aux PME et aux réalités locales (Buckley, 2002; Buunk & van der Werf, 2019; de Melo et al., 2024; Huang, 2023; Nistoreanu et al., 2020; Prieto-Sandoval et al., 2016; Sureeyatanapas et al., 2021; Tiago et al., 2021; Wurster & Ladu, 2020), une structure modulaire offre un potentiel de flexibilité pour une meilleure adaptation aux réalités du terrain. Ce cadre agit comme un facilitateur de transition pour les PME. En décomposant la durabilité en modules graduels et accessibles, la recherche réduit les barrières techniques et économiques. Elle permet aux PME d'adopter des pratiques responsables adaptées à leur capacité d'action réelle, sans compromettre leur viabilité financière.

Le potentiel de réutilisation et d'interopérabilité, grâce à la modularité, pourrait faciliter la réponse à divers besoins de reddition de compte auxquels répondent les écolabels à l'heure actuelle (voir le recensement des utilisateurs et utilisations des écolabels Tableau 4.6). Ceci est grâce aux

caractéristiques de décomposabilité, standardisation et de flexibilité de la modularité (Langlois, 2002; Simon, 1962). Plus largement, la modularité permet d'envisager une architecture de métaécolabel où les labels se complètent par paliers et maillons de la chaîne de production. Si les stratégies de reconnaissance entre écolabels demeurent marginales ou théoriques (Lavallée & Barentsein, 2004; Torma & Thøgersen, 2024), une centralisation architecturale assurerait la rigueur nécessaire à la standardisation malgré un effort de coordination considérable (Janßen & Langen, 2017).

D'autres défis sont anticipés, notamment la collaboration des acteurs en vue d'une standardisation internationale sans compromettre la crédibilité ni céder à l'écoblanchiment, auxquels les écolabels sont également assujettis (Montgomery et al., 2024). Pour que les écolabels performant pleinement, ils doivent être accompagnés d'autres instruments politiques (Danilina & Grigoriev, 2019; Gonzalez-Torres et al., 2023), tels que des subventions pour encourager des changements concrets de technologies et pratiques et la mesure des impacts, des standards minimaux visant à réduire les produits et services polluants, ainsi que des pénalités pour la pratique de l'écoblanchiment, afin de dissuader. Or, ceci nécessite un travail colossal de coopération, particulièrement dans les pays où les encadrements sont plus laxistes. Un cadre de modélisation et une méthode d'application permettent d'approfondir la conceptualisation d'une démarche susceptible de contribuer, notamment, à transformer le paysage des écolabels.

Le cadre de modélisation systémique, modulaire, multiperspective et multidimensionnel développé permet de structurer la mesure de la durabilité de l'industrie touristique. Cette approche appréhende la complexité du secteur pour en améliorer l'écoefficacité, en abordant son système de production et de consommation, les perspectives de modélisation et leurs champs d'action, les dimensions d'analyse des impacts liés à la durabilité, ainsi que les outils d'évaluation appropriés. Alors que la littérature rapporte la difficulté de composer avec de nombreux outils d'analyse, des étendues et portées variables des études et des évaluations de la durabilité (Berners-Lee et al., 2011; Cadarso et al., 2016), il est difficile de comparer les meilleures options de production et de consommation, autant pour les gouvernements, les prestataires de services, les voyageurs que pour les consommateurs. Comme l'ont bien exprimé Elhoushy et al. (2025, p. 19 [traduction libre]), « il est préoccupant qu'aucune recherche ne puisse nous dire à quel point les hôtels certifiés sont plus durables que leurs pairs. »

Grâce à une approche de modélisation modulaire, le système touristique est décomposé en une hiérarchie de catégories de modules gérables. Cette structure permet de modéliser divers systèmes touristiques à différentes échelles et perspectives, par leur décomposition en modules standardisés et leurs agencements « mix and match », qui représentent les composantes du système de production et de consommation de l'industrie. La représentation visuelle de l'industrie touristique, inspirée de la modélisation orientée objet, gagne ainsi en flexibilité, ce qui permet de représenter différentes perspectives, passant, par exemple, d'une sous-industrie à un prestataire de services, un voyageur ou un consommateur avec des forfaits touristiques, tout en conservant une vision systémique du système.

Pour structurer la mesure, une équation IPAT adaptée reflète mathématiquement ces systèmes touristiques. Elle définit les paramètres de l'écocoefficiencé ainsi que les facteurs multiplicatifs nécessaires à la création de scénarios modulaires. Si la littérature démontre l'efficacité de l'équation IPAT pour le découplage entre innovation, affluencé et impacts dans des industries spécifiques (Font Vivancó et al., 2014; Lonca et al., 2019), cette thèse s'en distingue en l'employant pour structurer la mesure de la durabilité au sein d'une industrie complexe regroupant de nombreuses sous-industries et perspectives. L'écocoefficiencé est appropriée pour exprimer les impacts à différentes échelles d'analyse (Gössling et al., 2005). Bien que la version actuelle simplifie la capacité de charge en se situant dans un intervalle constant avec des seuils, les itérations futures devront intégrer une dynamique non linéaire des impacts. Cette dynamique sera particulièrement pertinente pour étudier les impacts dans le contexte d'une capacité de charge atteinte, notamment à l'échelle des régions ou des territoires pour lesquels les perspectives n'ont pas été modélisées. Ces derniers seront intéressants à mettre en œuvre dans le cadre du développement touristique, notamment dans des régions à risque de sécheresse.

Cette contribution enrichit la littérature actuelle, souvent limitée par des modèles peu dynamiques, ciblant des enjeux, des échelles ou des sous-secteurs spécifiques, et donc peu flexibles ou peu systémiques (Candia & Pirlone, 2021; Castellani & Sala, 2012; Filimonau, 2016; Filimonau et al., 2013, 2014; P. Johnson et al., 2016). Cette contribution apporte également les fondements structurels d'une approche standardisée, nécessaire au cadre d'idéation proposé par les auteurs De Camillis, Peeters, Petti et Raggi (2012) visant à créer des forfaits touristiques à l'aide de l'identification d'écolabels de type III. Le cadre proposé par cette thèse dépasse la simple

conception de forfaits pour s'adapter à de multiples perspectives, offrant ainsi une vision systémique, tout en conservant une cohérence et une standardisation grâce à la modularité.

Ensuite, afin d'opérationnaliser le cadre de modélisation, une méthode systématique en quatre étapes a été développée. Les deux premières étapes visent à caractériser le système en définissant les éléments clés du cadre, à savoir la perspective, les dimensions et les outils d'évaluation envisagés. La décomposition en modules, selon une architecture de services modulaires, assure la cohérence et la standardisation. En définissant des attributs, des relations et des unités uniformes, cette approche permet la comparaison, la reproduction et la mise à l'échelle des modules pour la création de scénarios. La troisième étape génère ces scénarios, dont l'efficacité est améliorée grâce à des stratégies modulaires ajustant les facteurs de l'équation générale. Enfin, la quatrième étape facilite l'interprétation et la prise de décision. La séquence des étapes assure une reproduction cohérente et standardisée des systèmes modélisés et évalués, ce qui facilite l'application des stratégies modulaires ainsi que la réutilisation de modules dans d'autres systèmes.

Afin de démontrer la validité externe et la reproductibilité de la méthode systématique, elle est appliquée à deux perspectives touristiques distinctes, à deux niveaux de l'architecture du système touristique, c'est-à-dire les prestataires de services hôteliers et les voyagistes. Les résultats présentent des descriptions détaillées de l'ensemble des modules, dont les modules de services d'hébergement sont réutilisés par les voyagistes pour la création de scénarios de forfaits touristiques. En décomposant et configurant des modules standards, de nouvelles configurations peuvent émerger de manière plus efficace et plus performante, comme l'ont énoncé Voss et Hsuan (2009), mais à des fins de durabilité dans ce cas-ci. Ainsi, la méthode soutient le cadre de modélisation pour définir une variété de perspectives et offre le potentiel d'évaluation d'un ensemble d'enjeux, répondant ainsi au besoin identifié dans la littérature pour une approche harmonisée, suffisamment flexible pour accommoder diverses perspectives, contextes sectoriels et enjeux de durabilité (Sasidharan in Font & Buckley, 2001, p. 114; Gössling et al., 2023; Miller & Torres-Delgado, 2023).

Bien que les étapes 3 et 4 ne soient pas au cœur de la contribution, elles permettent d'illustrer l'application potentielle d'un tel cadre. L'analyse du cycle de vie (ACV) a été appliquée dans cette étude. Il s'agit d'un choix justifié par les normes ISO, qui encouragent une vision globale du cycle de vie, ainsi que par la complétude des impacts environnementaux évalués et la compatibilité avec

l'équation proposée dans le cadre. Des recherches futures pourront démontrer l'application d'autres outils d'évaluation à cette équation. L'ACV demeure toutefois une méthode d'évaluation robuste et complète en termes d'impacts aux fins de démonstration du cadre pour les perspectives choisies. L'étude présente deux perspectives, mais l'ajout d'autres services, notamment d'activité, enrichirait davantage les analyses, notamment pour le cas de la pourvoirie, qui offre des activités de pêche en bateau muni de moteurs à combustion d'énergie fossile ainsi que de moteurs électriques. Ceci enrichirait les analyses et la dynamique des choix possibles dans la conception de forfaits. La perspective d'une destination serait également à déterminer, notamment au niveau des infrastructures et des investissements soutenant le tourisme, comme l'entretien des routes, des parcs, etc.

Les résultats issus de 25 scénarios de forfaits distincts permettent de dégager plusieurs enseignements. Du côté du prestataire, les sources d'énergie renouvelables surpassent généralement les combustibles fossiles dans la plupart des catégories d'impacts, à l'exception notable de l'utilisation des ressources minérales, et l'option d'hébergement moins énergivore émerge comme priorité en matière d'efficacité. Du côté du voyageur, le transport constitue la principale source d'impact des forfaits. Si la durée des séjours est prolongée, les impacts par journée diminuent, diluant l'impact du transport, alors que les impacts globaux du séjour augmentent, ce qui souligne la pertinence d'explorer différentes unités d'analyse. Cela renforce également la nécessité d'intégrer les taux d'occupation et les fréquences de voyage afin d'éviter les effets de rebond et les représentations erronées de la consommation réelle des services touristiques. Cela reflète la dynamique sous-jacente à la mesure des impacts en fonction de la consommation des services. Il ne s'agit pas uniquement de connaître l'impact par personne.nuit, mais aussi de l'impact en fonction de l'intensité de consommation par séjour (e.g., la quantité de personnes et de nuits). Ce qui mènera à des labels de forfaits touristiques plus responsables, et dynamiques pour les forfaits touristiques. Il serait notamment intéressant d'intégrer au modèle des profils de comportements dans des itérations ultérieures de l'équation.

Les trois articles de cette thèse forment un travail de recherche cohérent et progressif vers un objectif général commun qui est d'améliorer la communication environnementale dans l'industrie du tourisme en s'intéressant aux conditions structurelles des écolabels qui permettent à l'écoblanchiment de se maintenir. Le premier article identifie les lacunes structurelles des écolabels face à la complexité du tourisme et justifie la modularité comme solution potentielle. Le deuxième

pose les bases théoriques d'un cadre de modélisation multiperspective de l'écoefficiente touristique, en mobilisant et en formalisant des concepts issus de la théorie des systèmes, de l'IPAT et de la modularité. Le troisième opérationnalise ce cadre à travers une méthode systématique proposée en quatre étapes, appliquée à deux cas d'application concrets. Ensemble, les trois contributions s'articulent en un dispositif intégré qui va du diagnostic à la solution conceptuelle, puis à la démonstration appliquée. L'écoblanchiment n'a pas été mesuré directement dans les deux études de cas, et une telle mesure dépasse le périmètre de cette thèse. En revanche, ce que l'application des deux cas au chapitre 6 a démontré, c'est la capacité de la démarche à créer les conditions structurelles nécessaires à l'atténuation de l'écoblanchiment, soit par une architecture favorisant la transparence et la mesure pouvant être réutilisée au sein de systèmes touristiques.

L'écoblanchiment prospère dans les environnements où l'information environnementale est vague, non vérifiable et non comparable. Dans le cas de la pourvoirie, la modélisation modulaire a permis de quantifier et de différencier l'écoefficiente selon plusieurs configurations d'hébergement, en fonction de leur source d'énergie et de leur niveau d'efficacité, produisant des résultats à la fois précis et comparables entre les options. Dans le cas du voyageur, l'analyse de 25 scénarios a montré la réutilisation d'informations provenant des prestataires de services hôteliers, la variabilité des impacts environnementaux selon les choix d'hébergement et de transport, sur des bases comparables, ainsi que les facteurs influençant ces impacts en tant que leviers d'écoefficiente. Ces scénarios illustrent la complexité à la création de forfaits touristiques à faible empreinte et montrent que, sans mesure, il ne serait pas possible de déterminer avec certitude quels choix ont le plus d'incidence. Ces résultats permettent à l'opérateur de formuler des allégations environnementales fondées sur des données quantitatives et une méthode scientifiquement établie, alors que les certifications conventionnelles de services touristiques basées sur les pratiques n'offrent ni granularité, ni transparence, ni possibilité de comparaison.

La modularité au cœur de cette thèse s'intéresse directement aux conditions structurelles inefficaces et, dans certains cas, favorisant l'écoblanchiment dans l'industrie touristique. Sa nature systémique brise la vision en silos en intégrant l'ensemble des composantes du système dans un cadre de modélisation cohérent. À titre d'illustration, un écolabel fondé uniquement sur la mesure des pratiques d'hébergement ignore le transport jusqu'à destination, qui représente pourtant la majorité des impacts comme le montrent les résultats du chapitre 6. Une omission qui constitue, en soi, une forme d'écoblanchiment par incomplétude. L'architecture multiperspective proposée

permet de rendre compte de la complexité de l'industrie en offrant des résultats pertinents à chaque partie prenante, qu'il s'agisse du touriste, du prestataire de services, du voyageur ou d'une autre perspective. La standardisation des modules assure la comparabilité des allégations environnementales entre perspectives, contextes et échelles, tandis que l'ancrage dans des méthodes d'évaluation reconnues, telles que l'ACV, assure que ces allégations reposent sur des données quantitatives vérifiables plutôt que sur des déclarations volontaires non contrôlées ou sans fondement scientifique.

Cette thèse propose ainsi de mettre en place des conditions d'information qui rendent l'écoblanchiment objectivement moins possible, grâce à la standardisation et à la mesure des composantes des systèmes touristiques et contribuant ainsi à l'amélioration des communications environnementales dans l'industrie du tourisme. Les limites de cette approche, notamment l'absence de suivi de l'adoption des allégations et de leur impact sur les comportements des parties prenantes, sont abordées dans la section suivante.

7.2 Limites et considérations futures

Sur le plan théorique et méthodologique, l'apport de ce travail réside dans l'adaptation de la pensée modulaire et de l'équation IPAT aux systèmes de services touristiques, ainsi que dans une méthode d'application systématique, capable d'intégrer un ensemble de perspectives représentées par cette même équation. Cette recherche comble un vide dans la littérature, souvent limitée par des modèles rigides ou restreints à des cas particuliers. Le cadre théorique propose ici une représentation systémique des maillons de la chaîne de production et de consommation du tourisme. La représentation des forfaits touristiques est décomposée en modules, ce qui permet de les modéliser dynamiquement en fonction de la performance environnementale de ces modules. L'analogie avec l'étiquetage des apports nutritionnels illustre parfaitement cette représentation, où, tout comme un repas est la somme de ses ingrédients, le forfait devient la somme de modules de services et de leurs impacts environnementaux. Cette structure mathématique permet de simuler dynamiquement des changements de variables, tels que la distance, la durée ou le mode de transport, offrant une capacité d'analyse approfondie pour comprendre comment chaque choix modifie l'impact global, sans altérer l'essence de l'expérience vécue.

À l'état actuel, le cadre et la méthode proposés présentent des limites, notamment en matière de standardisation complète, de complétude méthodologique et d'applicabilité pratique. Toutefois,

leur force réside dans une modularité agile qui s'articule sur trois fronts. Ils offrent une flexibilité dans la modélisation des systèmes, basée sur des composants standardisés, ainsi qu'une capacité d'évolution du cadre lui-même, par l'ajout de nouveaux modules technologiques, d'outils d'évaluation ou d'enjeux de durabilité. Finalement, la systématisation d'une méthode permet d'appliquer l'amélioration continue de la performance environnementale et de l'efficacité dans l'utilisation des données.

Ensuite, la dimension multiperspective présente une opportunité pour la « personnalisation de masse » appliquée à la durabilité, ce qui contribue à la recherche actuelle sur la modularité et le tourisme (Avlonitis & Hsuan, 2017). Une fois les modules évalués et intégrés, l'utilisation des données requiert peu d'efforts pour mettre à jour et les utiliser comme variantes. La modularité permet ainsi de substituer un module à fort impact par une alternative plus sobre tout en conservant le niveau de confort souhaité (e.g., 3 ou 4 étoiles).

D'un point de vue pragmatique, cette recherche offre aux acteurs de l'industrie un levier de pilotage stratégique en intégrant des modules standardisés au sein d'une banque de services touristiques, ce qui réduit considérablement les efforts nécessaires à la conception de forfaits durables. Il devient alors plus facile de réutiliser les données pour comprendre comment les impacts évoluent dynamiquement (e.g., voyager plus longtemps ou, mais moins loin).

Pour les écolabels, l'apport est structurant. La structure modulaire permet de concevoir des certifications standardisées entre les acteurs, favorisant une uniformisation universelle comme le recommande la littérature (Buckley, 2002; Elhoushy et al., 2025; Font, 2002; Hernandez-Maskivker et al., 2025; Minkov et al., 2015; Sasidharan et al., 2002). Elle permet une conception formalisée « à paliers », rendant la reddition de comptes accessible aux PME, qui peuvent raffiner leur mesure progressivement en fonction de leur niveau de maturité. Cette granularité assure une transparence cruciale pour identifier non seulement les impacts calculés, mais aussi les données manquantes, à mettre à jour, rendant chaque composante de la chaîne de valeur enfin « étiquetée » ou enfin caractérisée. Cette structure offre également une voie vers une réflexion sur des écolabels pour les forfaits touristiques, qui permettraient une vision systémique des impacts de la consommation finale, pour le moment identifiée comme inexistante (Yokessa & Marette, 2019).

Cette recherche s'inscrit dans un mouvement de lutte contre l'écoblanchiment actif dans différents pays et régions (Code de La Consommation, 2025; Competition and Markets Authority, 2021;

Gouvernement du Canada, 2024; République française & ADEME, 2025). Par exemple, en Europe, la trilogie de la Commission, du Parlement et du Conseil européen travaille depuis plusieurs mois sur des négociations visant à renforcer les exigences en matière de déclarations environnementales, fondées sur des preuves scientifiques (Commission européenne, 2023). Pour des raisons de désaccords entre les parties sur les négociations relatives à l'exemption, ou non, des microentreprises, et pour des raisons politiques, la proposition de directive relative à la justification et à la communication des allégations environnementales explicites est en attente depuis juin 2025 (Parlement européen, 2025). Cette situation de désaccord suscite un intérêt pour cette recherche, où la modularité offre un potentiel d'adaptation des écolabels aux petites entreprises et d'intégration de la mesure des impacts liés à la durabilité.

Malgré ces apports, ce travail exploratoire comporte des limites inhérentes à son stade d'idéation. Comme le mentionnent Ethiraj et Levinthal (2004), une modularité excessive peut s'avérer contre-productive. Un équilibre doit ainsi être trouvé entre l'utilisabilité, l'efficience de la réutilisation des données et la granularité nécessaire. La question demeure de définir les niveaux optimaux de modularité pour les systèmes touristiques sans engendrer une complexité par une fragmentation inefficace ou par l'ajout d'une lourdeur administrative ou des coûts de gestion des données que nécessite une telle initiative. Des recherches additionnelles sur les bénéfices d'une plus grande transparence et les coûts de gestion d'une telle approche comparés aux coûts de l'inaction sur le plan environnemental (e.g., dégradation de la qualité) seraient fort intéressantes pour justifier un tel investissement. À ces limites s'ajoutent plusieurs lacunes thématiques. Les dimensions sociales et culturelles de la durabilité sont prises en compte dans le cadre actuel, mais elles ne sont pas approfondies ni intégrées, car le cadre se concentre sur les impacts environnementaux pour valider l'approche proposée. Une extension aux indicateurs sociaux et culturels serait nécessaire pour une vision systémique plus complète de la durabilité touristique, notamment à l'aide d'outils d'évaluation sociale ainsi que sur les perspectives de la société, des employés, des citoyens. De plus, l'intégration des comportements et des perceptions des consommateurs demeure un enjeu essentiel pour que les outils développés se traduisent par des changements concrets.

D'un autre côté, les mécanismes incitatifs à l'adoption de ces outils offrant une plus grande transparence, ainsi que la gouvernance générale d'une telle technologie, n'ont pas encore été évalués. Or, en fonction des informations recueillies, des pistes peuvent être anticipées. La crédibilité d'un écolabel ne repose pas uniquement sur la rigueur méthodologique, mais également

sur la légitimité des instances qui l'administrent (Font & Buckley, 2001 ; Buckley, 2002). Les écolabels publics jouissent d'une plus grande crédibilité, mais présentent des défis de financement et de capacité opérationnelle, tandis que les écolabels privés sont plus agiles pour refléter l'évolution du marché, mais peuvent également être influencés à la baisse par des mécanismes de survie financière visant à attirer des membres. Pour qu'un écolabel modulaire intégrant la mesure soit crédible, une gouvernance quadripartite semble nécessaire : une composante scientifique garantissant la rigueur méthodologique des modules et des indicateurs, à l'image des normes existantes; une composante institutionnelle assurant la reconnaissance internationale et la présence d'institutions locales pour l'intégration aux réglementations ou en complément; une composante industrielle facilitant l'adaptation aux réalités opérationnelles; ainsi qu'une composante indépendante impliquant des vérificateurs et des accréditeurs pour l'indépendance de mise en œuvre. Ceci offrirait les conditions les plus favorables pour réunir rigueur, légitimité et accessibilité. La modularité offre ici un avantage supplémentaire, soit la segmentation des responsabilités par module et par maillon de la chaîne, qui ressort des attributs souhaitables face à la complexité de l'industrie touristique, afin d'améliorer la gouvernance (e.g., étapes de certification, d'audits, etc.) (Tableau 4.8). Elle permettrait une gouvernance décentralisée tout en préservant une cohérence d'ensemble, guidée par les règles de la structure modulaire décidées par une organisation quadripartite. Ce point est pertinent pour déterminer si un écolabel modulaire devrait être administré par un organisme public ou par le secteur privé. Grâce à un système guidé par des règles et à une gouvernance, les écolabels actuels peuvent coexister tant qu'ils démontrent leur conformité. La séparation entre la définition des standards, leur accréditation et leur mise en œuvre opérationnelle constitue un principe fondamental pour éviter que le système ne reproduise des pratiques d'écoblanchiment. Or, l'administration d'une telle plateforme encourt des risques d'accessibilité à l'information si elle est privée, et pourrait reproduire des iniquités d'accès pour les PME et les pays en développement, selon son modèle d'affaires.

Plus de recherches seront nécessaires pour comprendre sous quel encadrement politique cet écolabel modulaire pourra apporter une réelle amélioration des communications, telle que la réduction des impacts, l'évitement des effets rebond et une transparence supérieure à celle des écolabels existants. De plus, l'étude des comportements face à ce type de structure d'écolabels, tant au niveau des organisations d'écolabellisation que des organisations et des consommateurs, sera nécessaire pour comprendre les motivations d'adoption, ainsi que les retombées économiques et

environnementales au fil du temps. Ces efforts ne vont pas sans s'assurer de poursuivre les activités de sensibilisation auprès des voyageurs, notamment du Nord vers le Sud. Il s'agit d'une vision de longue haleine qui devra faire face à des résistances au changement. Néanmoins, une meilleure mesure des composantes individuelles améliore la chaîne de valeur dans son ensemble et permet à chaque acteur d'agir sur des champs d'action qui lui sont propres, de manière précise et transparente, améliorant ainsi les communications environnementales.

Alors que la communication environnementale porte à la fonction pragmatique d'informer et d'inciter à l'action, elle rappelle également son devoir d'accroître la capacité de la société à répondre aux signaux environnementaux, de favoriser la transparence et de dénoncer les représentations non durables (Cox, 2007). Comme le soulignent Montgomery et al. (2024), il y a un besoin de passer à la constatation de l'écoblanchiment à la création d'outils concrets pour le limiter. Cette thèse répond à ces objectifs d'amélioration des communications environnementales en proposant un cadre modulaire pour structurer la mesure de la durabilité de manière standardisée, adaptable à diverses perspectives et permettant de naviguer dans les chaînes d'approvisionnement généralement opaques. Elle contribue à la fonction pragmatique en fournissant des outils contribuant à une divulgation vérifiable, transparente, organisée et pouvant être adaptée aux perspectives ainsi qu'aux réalités du terrain pour une meilleure adoption.

7.3 Projection de l'architecture modulaire de l'information environnementale pour les écolabels

En établissant théoriquement le potentiel de la modularité pour répondre aux imperfections des écolabels touristiques (CHAPITRE 4) et en proposant le cadre de modélisation systémique qui en structure la mesure (CHAPITRE 5), les deux premiers articles posent les fondements d'un système plus large auquel le CHAPITRE 6 contribue à démontrer empiriquement, et dont la présente thèse trace l'architecture. Si les articles mobilisent le concept d'écolabel modulaire pour désigner un programme de certification intégrant une mesure rigoureuse des impacts, cet ouvrage propose ici de discuter de l'infrastructure sous-jacente, soit la plateforme qui rendrait un tel système opérationnel à l'échelle de l'industrie. L'écolabel modulaire demeurerait ainsi l'objet visible de certification pour les acteurs et les consommateurs, tandis que la plateforme en constituerait le fondement invisible.

Dans l'immédiat, cette architecture pourrait servir de feuille de route pour mobiliser l'industrie à répondre aux exigences croissantes de divulgation environnementale fondée sur des preuves scientifiques. Or, sans cadre partagé, chaque acteur produirait des données certes scientifiques, mais incomparables et inutilisables pour le commun des mortels ou pour orienter des choix plus responsables au sein des chaînes d'approvisionnement, reproduisant ainsi le chaos informationnel que les écolabels actuels peinent déjà à résoudre. En ce sens, cet ouvrage ne propose pas seulement un outil de mesure, mais une architecture de l'information environnementale dans le tourisme, dont la force réside dans sa capacité à organiser l'information de manière rigoureuse, comparable et utilisable selon différents besoins et différentes perspectives.

Dans un autre ordre d'idées, la méthode systématique en quatre étapes développées dans le chapitre 6, permettant de caractériser un système touristique par la décomposition de ses modules, la définition des perspectives, des dimensions et des outils d'évaluation appropriés, pourrait servir de cadre de travail pour l'établissement d'une plateforme centralisée jouant un double rôle. D'une part, elle pourrait contenir les règles de caractérisation des modules standardisés. Ces règles comprendraient les normes de référence applicables à chaque famille de modules, les outils d'évaluation appropriés, ainsi que les périmètres d'inclusion définissant ce qui entre ou non dans chaque module. Les informations nécessaires à récolter pour alimenter la mesure, ainsi que les unités fonctionnelles permettant la comparaison entre les modules, seraient également parmi ces règles. Des critères minimaux obligatoires serviraient de base commune de comparaison, accessibles aux PME, auxquels des critères additionnels pourraient être greffés selon la taille des entreprises ou les contextes locaux. Elles seraient établies par consensus quadripartite comme énoncé plus haut. D'autre part, les organismes de certification, conformément aux règles de la plateforme, pourraient insérer ou approuver les modules certifiés dans une bibliothèque vivante commune. Chaque module ainsi approuvé y serait accessible et réutilisable par l'ensemble de la chaîne. Le respect des règles de la plateforme constitue la condition d'entrée dans cette bibliothèque, ce qui crée un incitatif structurel à l'harmonisation des pratiques de certification. Plus les organismes d'écolabellisation adoptent ces règles, plus la bibliothèque s'enrichit, renforçant la valeur collective du système. Les écolabels s'appuieraient sur ce référentiel pour établir leurs critères et mesurer les services des acteurs, conformément aux règles définies par la plateforme, tandis que des tiers indépendants en valideraient la conformité. Une telle structure pourrait être administrée par une instance telle que le Global Sustainable Tourism Council (GSTC), dont le rôle

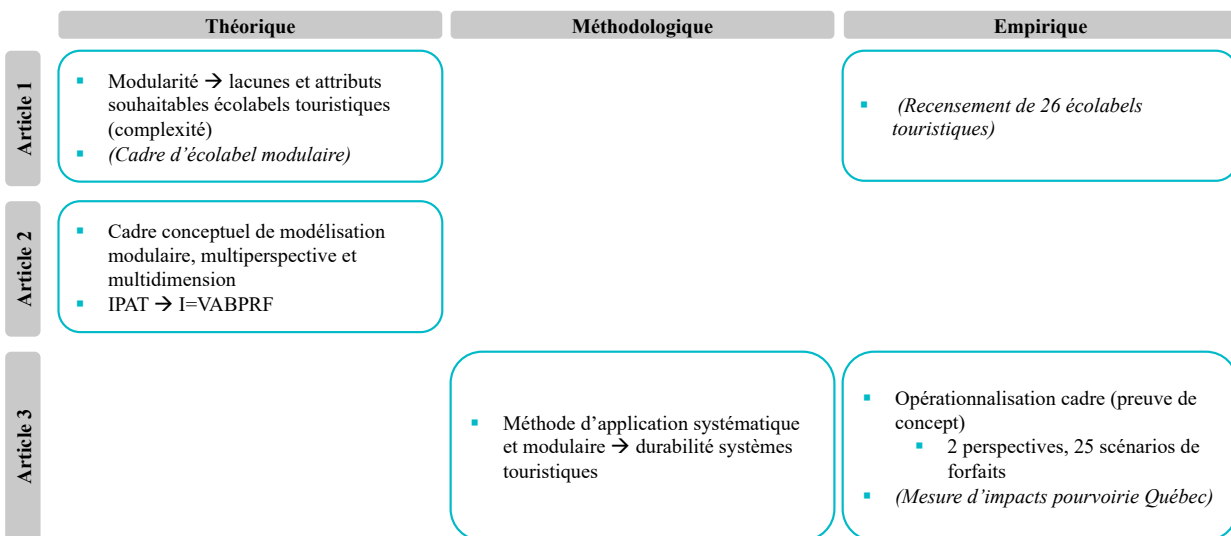
de coordination internationale de standards en tourisme est déjà reconnu dans le secteur, mais qui ne prend pas la mesure de l'impact. Bien évidemment, des ressources financières sont à prévoir pour l'administration ainsi que pour la gestion des données. Alors que la prolifération des écolabels nuit à la clarté de l'information environnementale, cette structure ne vise pas à réduire cette diversité par la simplification, mais à structurer et à harmoniser les exigences de mesure de la durabilité au sein d'une architecture commune. Cependant, si l'adoption de ces règles constitue un incitatif à l'harmonisation, elle pourrait également transformer le paysage des écolabels touristiques. Certains programmes pourraient choisir de s'allier pour mutualiser leurs ressources afin d'offrir les services nécessaires à la hauteur des exigences, d'autres pourraient étendre leur portée à de nouveaux maillons de la chaîne, tandis que ceux dont les critères ne correspondent pas aux règles communes pourraient perdre en pertinence. Cette recomposition du marché de la certification, bien qu'incertaine, est une conséquence probable de cette démarche d'harmonisation à cette échelle. La modularité du système en assure la cohérence au sein des perspectives. Un même module, une fois certifié et versé dans la bibliothèque, peut être réutilisé dans d'autres systèmes sans être réévalué à moins d'une mise à jour nécessaire. Un module évalué chez un fournisseur peut ainsi être intégré dans le système comme prestataire d'hébergement, lequel peut lui-même être repris dans le forfait d'un voyageur, ou agrégé dans le bilan d'un territoire, chaque niveau mobilisant les mêmes modules certifiés sans perte de cohérence ni duplication.

Les informations ainsi accumulées dans la bibliothèque commune pourraient finalement alimenter des plateformes de conception et de réservation de voyages, où chaque destination, service et forfait seraient associés à leur écolabel modulaire correspondant. Des initiatives en ce sens existent déjà : Google Flights affiche les émissions par type de siège pour les segments de vol, et Google Travel (volet hébergement) indique les hébergements certifiés par certaines certifications. Ces initiatives demeurent toutefois discutables, fondées sur des méthodologies incomplètes, des écolabels sans mesure, manquant de transparence et se limitant à certains segments de l'offre touristique. La présente architecture pourrait davantage alimenter ces indicateurs de manière rigoureuse et comparable, en produisant, à terme, un bilan environnemental complet pour chaque voyage acheté en ligne sur des plateformes de transaction, dans l'éventualité où la divulgation de telles informations deviendrait obligatoire. Ces plateformes répondraient ainsi à un besoin croissant de transparence, en traduisant l'information technique en une interface lisible pour le consommateur,

par exemple par une gradation de couleurs synthétisant la performance environnementale des options disponibles.

CHAPITRE 8 CONCLUSION

À travers cet ouvrage, les contributions scientifiques sont mentionnées et, dans le but d'être explicite à ce sujet, la Figure 8.1 présente ces contributions sur le plan théorique, méthodologique et empirique. Cet ouvrage contribue à la théorie en identifiant le potentiel de la modularité pour combler des lacunes et répondre à des exigences relatives aux attributs des écolabels touristiques, face à la complexité de cette industrie. Dans un deuxième temps, un cadre conceptuel de modélisation modulaire, multiperspective et multidimensionnelle, adapté à la complexité de cette industrie, est proposé et formulé à l'aide d'une équation IPAT adaptée. La contribution méthodologique de la thèse réside dans la proposition d'une méthode d'application systématique du modulaire en vue de la durabilité des systèmes touristiques. Finalement, la contribution empirique de cette recherche réside dans la mise en œuvre du cadre, qui en constitue une preuve de concept du cadre. Des contributions secondaires font également partie des apports de cette recherche, dont la proposition d'un cadre théorique d'écolabel modulaire, le recensement de 26 écolabels touristiques et la mesure des impacts d'une pourvoirie du Québec, en tant que contribution empirique.



Italique: (Contributions secondaires)

Figure 8.1 Contributions scientifiques

L'originalité de cette thèse réside dans la transposition du concept de modularité aux services touristiques complexes dans le but d'améliorer la communication environnementale de l'industrie touristique. Cette approche multidisciplinaire unifie l'ingénierie et les communications environnementales au sein d'un cadre systémique flexible. En critiquant la structure et la mise en œuvre des écolabels actuels, la recherche propose la personnalisation des informations standardisées. Enfin, ce cadre permet de modéliser des forfaits de voyage ainsi que différentes échelles de services et d'offres, offrant une réponse concrète au besoin de standardisation des impacts touristiques.

Cette approche novatrice pourrait apporter des changements réels pour l'industrie, bien que leur pleine réalisation nécessite du temps, une implication politique soutenue ainsi qu'un effort important de sensibilisation et d'accompagnement. D'abord, ce travail offre un potentiel direct de standardisation et de transformation de la certification auprès des organisations d'écolabellisation privées et publiques. En introduisant une mesure d'impact rigoureuse, fondée sur la science, elle renforce la transparence et assure la conformité aux réglementations émergentes visant à lutter contre l'écoblanchiment. Cette vision systémique favorise la mobilisation de la communauté en vue de l'unification des processus en vue d'un métaécolabel, réduisant ainsi le chaos actuel des certifications.

Ensuite, l'architecture modulaire permet l'élaboration d'un écolabel pour les forfaits touristiques, une offre actuellement inexistante en raison de la fragmentation du secteur. Son intégration éventuelle aux plateformes de transaction permettrait d'instaurer un système dynamique, décentralisé et réactif en temps réel, tout en informant sur l'empreinte complète d'un voyage et ainsi de réduire les risques d'écoblanchiment par les voyageurs. Pour la recherche, cette informatisation offre le potentiel de recueillir des données empiriques plutôt que des données déclarées par les consommateurs, affinant ainsi la compréhension des comportements d'achat responsables. À terme, à mesure que les limites planétaires évoluent, le « push marketing » pourrait proposer des options moins polluantes, répondant aux préférences des consommateurs.

En somme, cette thèse présente des assises articulées autour du concept de modularité, en tant qu'approche visant à améliorer les communications environnementales dans l'industrie touristique, en particulier concernant les écolabels. Alors que d'autres industries tendent à standardiser les écolabels, l'industrie touristique tarde à suivre la tendance. D'autant plus qu'une tendance

s’observe chez les gouvernements à se mobiliser en faveur de réglementations visant à lutter contre l’écoblanchiment, qui exigent des preuves scientifiques. Cette recherche répond donc à un besoin criant de l’industrie d’améliorer la standardisation des programmes d’écotabellisation afin d’offrir les informations cohérentes, comparables, et appuyées par la science, et qui soient également accessibles. Elle répond ainsi à la mission de la communication environnementale cherchant à protéger l’intégrité de l’information au sujet de l’environnement et de la crise écologique (Cox, 2007).

En guise de conclusion, davantage de données sur la durabilité peuvent améliorer la prise de décision plus responsable, mais une structure devrait être envisagée afin qu’elles soient utilisables et utiles. La modularité permet ainsi de structurer et de communiquer avec flexibilité, au bénéfice de différentes perspectives, afin d’améliorer les communications environnementales.

« Si nous voulons que les consommateurs se comportent de manière responsable, nous devons leur fournir des informations exactes. De plus en plus de voyageurs se soucient de leur empreinte environnementale et choisissent des produits et des services présentant de meilleures performances environnementales. Ils méritent des réponses précises et scientifiques, pas des allégations vagues ou mensongères. La Commission est fermement résolue à donner aux consommateurs les moyens d'agir dans le cadre de la transition écologique et à lutter contre l’écoblanchiment. Nous attendons des compagnies aériennes, ainsi que de tout autre acteur économique qu’elles fassent un usage responsable des allégations environnementales. »

— Věra Jourová, Avocate et ancienne vice-présidente de la Commission européenne pour les valeurs et la transparence (Commission européenne, 2024)

RÉFÉRENCES

- Abdou, A. H., Hassan, T. H., & El Dief, M. M. (2020). A Description of Green Hotel Practices and Their Role in Achieving Sustainable Development. *Sustainability*, 12(22), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su12229624>
- Aransyah, M. F., Hermanto, B., & Muftiadi, A. (2025). Exploring sustainability oriented innovations in tourism: Insights from ecological modernization, diffusion of innovations, and the triple bottom line. *Cogent Social Sciences*, 11(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/23311886.2024.2447396>
- Arzoumanidis, I., Walker, A. M., Petti, L., & Raggi, A. (2021). Life Cycle-Based Sustainability and Circularity Indicators for the Tourism Industry: A Literature Review. *Sustainability*, 13(21), 1–11. <https://doi.org/10.3390/su132111853>
- Asmelash, A. G., & Kumar, S. (2019). Assessing progress of tourism sustainability: Developing and validating sustainability indicators. *Tourism Management*, 71, 67–83. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2018.09.020>
- Avlonitis, V., & Hsuan, J. (2017). Exploring modularity in services: Cases from tourism. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(6), 771–790. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2015-0531>
- Babakhani, N., Lee, A., & Dolnicar, S. (2020). Carbon labels on restaurant menus: Do people pay attention to them? *Journal of Sustainable Tourism*, 28(1), 51–68. <https://doi.org/10.1080/09669582.2019.1670187>
- Baldwin, C. Y., & Clark, K. B. (1997, September 1). Managing in an Age of Modularity. *Harvard Business Review*. <https://hbr.org/1997/09/managing-in-an-age-of-modularity>
- Barkemeyer, R., Young, C. W., Chintakayala, P. K., & Owen, A. (2023). Eco-labels, conspicuous conservation and moral licensing: An indirect behavioural rebound effect. *Ecological Economics*, 204, 107649. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107649>
- Bask, A. H., Tinnilä, M., & Rajahonka, M. (2010). Matching service strategies, business models and modular business processes. *Business Process Management Journal*, 16(1), 153–180. <https://doi.org/10.1108/14637151011017994>
- Bask, A., Leseure, M., Lipponen, M., Rajahonka, M., & Tinnilä, M. (2010). The concept of modularity: Diffusion from manufacturing to service production. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(3), 355–375. <https://doi.org/10.1108/17410381011024331>
- Bask, A., Lipponen, M., Rajahonka, M., & Tinnilä, M. (2011). Framework for modularity and customization: Service perspective. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 26(5), 306–319. <https://doi.org/10.1108/08858621111144370>
- Baumann, A. A., & Cabassa, L. J. (2020). Reframing implementation science to address inequities in healthcare delivery. *BMC Health Services Research*, 20(1), 190. <https://doi.org/10.1186/s12913-020-4975-3>

- Bearman, M., Smith, Calvin D., Carbone, Angela, Slade, Susan, Baik, Chi, Hughes-Warrington, Marnie, & Neumann, D. L. (2012). Systematic review methodology in higher education. *Higher Education Research & Development*, 31(5), 625–640. <https://doi.org/10.1080/07294360.2012.702735>
- Becken, S., Simmons, D. G., & Frampton, C. (2003). Energy use associated with different travel choices. *Tourism Management*, 24(3), 267–277. [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(02\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(02)00066-3)
- Behdani, B. (2012). Evaluation of paradigms for modeling supply chains as complex socio-technical systems. *Proceedings Title: Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC)*, 1–15. <https://doi.org/10.1109/WSC.2012.6465109>
- Ben Youssef, A., & Lahmandi-Ayed, R. (2008). Eco-labelling, Competition and Environment: Endogenization of Labelling Criteria. *Environmental and Resource Economics*, 41(2), 133–154. <https://doi.org/10.1007/s10640-007-9184-6>
- Berners-Lee, M., Howard, D. C., Moss, J., Kaivanto, K., & Scott, W. A. (2011). Greenhouse gas footprinting for small businesses—The use of input-output data. *The Science of the Total Environment*, 409(5), 883–891. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.11.023>
- Bernini, C., Emili, S., & Vici, L. (2021). Are mass tourists sensitive to sustainability? *Tourism Economics*, 27(7), 1375–1397. <https://doi.org/10.1177/1354816620923212>
- Bilbao-Terol, A., & Bilbao-Terol, C. (2020). Measuring the Economic Impact of a Voluntary Sustainable Tourism Certification. *Sustainability*, 12(13), 5465. <https://doi.org/10.3390/su12135465>
- Bjørn, A., & Hauschild, M. Z. (2015). Introducing carrying capacity-based normalisation in LCA: Framework and development of references at midpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(7), 1005–1018. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0899-2>
- Blackman, A., Naranjo, M. A., Robalino, J., Alpízar, F., & Rivera, J. (2014). Does Tourism Eco-Certification Pay? Costa Rica's Blue Flag Program. *World Development*, 58, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.12.002>
- Blue Flag. (s.d.). *Blue Flag's criteria*. Blue Flag. <https://www.blueflag.global/criteria>
- Boone, Kurtz, Mackenzie, & Snow. (2015). *Contemporary marketing* (4th Canadian edition). Cengage Learning Canada Inc.
- Bratt, C., Hallstedt, S., Robèrt, K.-H., Broman, G., & Oldmark, J. (2011). Assessment of eco-labelling criteria development from a strategic sustainability perspective. *Journal of Cleaner Production*, 19(14), 1631–1638. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.012>
- Brax, S. A., Bask, A., Hsuan, J., & Voss, C. (2017). Service modularity and architecture – an overview and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(6), 686–702. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2017-0191>
- Buckley, R. (2002). Tourism ecolabels. *Annals of Tourism Research*, 29(1), 183–208. [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(01\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(01)00035-4)

- Buckley, R. (2011). Tourism and environment. *Annual Review of Environment and Resources*, 36(1), 397–416. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-041210-132637>
- Buckley, R. (2020). Limited take-up of ecocertification by tourism firms: A goldilocks effect? *Journal of Sustainable Tourism*, 28(11), 1905–1910. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1770773>
- Budeanu, A. (2005). Impacts and responsibilities for sustainable tourism: A tour operator's perspective. *Journal of Cleaner Production, Sustainable Tourism*, 13(2), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.12.024>
- Budeanu, A. (2007). Sustainable tourist behaviour – a discussion of opportunities for change. *International Journal of Consumer Studies*, 31(5), 499–508. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2007.00606.x>
- Bulle, C., Margni, M., Patouillard, L., Boulay, A.-M., Bourgault, G., De Bruille, V., Cao, V., Hauschild, M., Henderson, A., Humbert, S., Kashef-Haghighi, S., Kounina, A., Laurent, A., Levasseur, A., Liard, G., Rosenbaum, R. K., Roy, P.-O., Shaked, S., Fantke, P., & Joliet, O. (2019). IMPACT World+: A globally regionalized life cycle impact assessment method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(9), 1653–1674. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>
- Butler, R. W. (1999). Sustainable tourism: A state-of-the-art review. *Tourism Geographies*, 1(1), 7–25. <https://doi.org/10.1080/14616689908721291>
- Butler, R. W. (2019). Tourism carrying capacity research: A perspective article. *Tourism Review*, 75(1), 207–211. <https://doi.org/10.1108/tr-05-2019-0194>
- Buunk, E., & van der Werf, E. (2019). Adopters versus Non-Adopters of the Green Key Ecolabel in the Dutch Accommodation Sector. *Sustainability*, 11(13), 3563. <https://doi.org/10.3390/su11133563>
- Buxmann, K., Kistler, P., & Rebitzer, G. (2009). Independent information modules—A powerful approach for life cycle management. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(Suppl 1), 92–100. <https://doi.org/10.1007/s11367-009-0075-7>
- Cadarso, M. Á., Gómez, N., López, L. A., & Tobarra, M. Á. (2016). Calculating tourism's carbon footprint: Measuring the impact of investments. *Journal of Cleaner Production, Special Volume: Sustainable Tourism: Progress, Challenges and Opportunities*, 111, 529–537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.019>
- Cadrin, S. X., & Nakatsuka, S. (2024). Marine stewardship council's fisheries standard: Updated best practices for promoting sustainable seafood. *MARINE POLICY*, 163, Article 106083. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106083>
- Camilleri, M. A. (2018). The Tourism Industry: An Overview. In M. A. Camilleri (Ed.), *Travel Marketing, Tourism Economics and the Airline Product: An Introduction to Theory and Practice*. Springer international Publishing.

- Campagnolo, D., & Camuffo, A. (2010). The concept of modularity in management studies: A literature review. *International Journal of Management Reviews*, 12(3), 259–283. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2009.00260.x>
- Candia, S., & Pirlone, F. (2021). Tourism Environmental Impacts Assessment to Guide Public Authorities towards Sustainable Choices for the Post-COVID Era. *Sustainability*, 14(1), 18. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14010018>
- Capacci, S., Scorcu, A. E., & Vici, L. (2015). Seaside tourism and eco-labels: The economic impact of Blue Flags. *Tourism Management*, 47, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.09.003>
- Capitano, C., Cirrincione, L., Peri, G., Rizzo, G., & Scaccianoce, G. (2022). A simplified method for the indirect evaluation of the “embodied pollution” of natural stones (marble) working chain to be applied for achieving the Ecolabel brand of the product. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132576. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132576>
- Castellani, V., & Sala, S. (2012). Ecological Footprint and Life Cycle Assessment in the sustainability assessment of tourism activities. *Ecological Indicators*, 16, 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.08.002>
- Charles, E., & Sauvin, T. (2013). Quand un label révèle un autre modèle de développement : Le cas du label « Accueil Pêche en Finistère ». *Téoros*, 32(1), 38–46.
- Christensen, P. H., Robinson, S., & Simons, R. (2022). Institutional investor motivation, processes, and expectations for sustainable building investment. *Building Research & Information*, 50(3), 276–290. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1908878>
- CIRAIG & DTU. (2023). *IMPACT World+ Version 2.0*. IMPACT World+. https://www.impactworldplus.org/wp-content/uploads/2024/09/IW2.0_2023_07_20.pdf
- Cirrincione, L., La Gennusa, M., Peri, G., Rizzo, G., & Scaccianoce, G. (2020). Towards Nearly Zero Energy and Environmentally Sustainable Agritourisms: The Effectiveness of the Application of the European Ecolabel Brand. *Applied Sciences*, 10(17), 5741. <https://doi.org/10.3390/app10175741>
- Claude, D., & Zaccour, G. (2009). Investment in tourism market and reputation. *Journal of Public Economic Theory*, 11(5), 797–817. (WOS:000270505200006). <https://doi.org/10.1111/j.1467-9779.2009.01430.x>
- Code de La Consommation, L132-1 A, République française (2025). https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000051560139
- Comfort, S. E., & Park, Y. E. (2018). On the Field of Environmental Communication: A Systematic Review of the Peer-Reviewed Literature. *Environmental Communication*, 12(7), 862–875. <https://doi.org/10.1080/17524032.2018.1514315>
- Commission européenne. (2023). *Proposition de Directive du Parlement européen et du Conseil relative à la justification et à la communication des allégations environnementales*

- explicites (directive sur les allégations écologiques)* (No. 2023/0085). Commission européenne. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52023PC0166>
- Commission européenne. (2024). *Commission and national consumer protection authorities starts action against 20 airlines for misleading greenwashing practices*. Commission européenne. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_2322
- Competition and Markets Authority. (2021). *Environmental claims on goods and services* (CMA 146). United Kingdom. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/61482fd4e90e070433f6c3ea/Guidance_for_businesses_on_making_environmental_claims_.pdf
- Costa, M. de O., Proença, A. R. G. B., Solha, K. T., & Pinto, G. P. (2024). Turismo Responsável: Resultados que inspiram! In *Portal de Livros Abertos da USP*. Portal de Livros Abertos da USP. <https://doi.org/10.11606/9788572052788>
- Courtat, M., Joyce, P. J., Sim, S., Sadhukhan, J., Sheffield, D., & Murphy, R. (2025). Environmental rating ecolabels: How does product categorization affect product ratings and potential interpretation? *Journal of Industrial Ecology*, 29(4), 1335–1349. <https://doi.org/10.1111/jiec.70053>
- Cox, R. (2007). Nature’s “Crisis Disciplines”: Does Environmental Communication Have an Ethical Duty? *Environmental Communication*, 1(1), 5–20. <https://doi.org/10.1080/17524030701333948>
- Dan Vermeer, Bob Clemen, Alexandra Michalko, Davie Nguye, Catherine Noyes, Anita Akella, Julia Bunting, & Golden, J. S. (2010). *An Overview of Ecolabels and Sustainability Certifications in the Global Marketplace* (Interim Report Nos. 2010-10-01; pp. 1–99). Duke University.
- Danilina, V., & Grigoriev, A. (2019). Information Provision in Environmental Policy Design. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL INFORMATICS*, 36(1), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.3808/jei.201900410>
- Davis, M. C., Challenger, R., Jayewardene, D. N. W., & Clegg, C. W. (2014). Advancing socio-technical systems thinking: A call for bravery. *Applied Ergonomics*, 45(2), 171–180. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.02.009>
- de Bortoli, A., & Féraïlle, A. (2024). Banning short-haul flights and investing in high-speed railways for a sustainable future? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 128, 103987. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103987>
- De Bruijn, H., & Herder, P. M. (2009). System and Actor Perspectives on Sociotechnical Systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 39(5), 981–992. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2009.2025452>
- De Camillis, C., Peeters, P., Petti, L., & Raggi, A. (2012). Tourism Life Cycle Assessment (LCA): Proposal of a New Methodological Framework for Sustainable Consumption and Production. In M. Kasimoglu (Ed.), *Visions for Global Tourism Industry—Creating and Sustaining Competitive Strategies*. <https://doi.org/10.5772/23550>

- de Mattos, C. S., Fettermann, D. C., & Cauchick-Miguel, P. A. (2021). Service modularity: Literature overview of concepts, effects, enablers, and methods. *The Service Industries Journal*, 41(15–16), 1007–1028. <https://doi.org/10.1080/02642069.2019.1572117>
- de Melo, M. T. G., da Silva Barros, J. M., Ribeiro, A. R. B., Lima, T. L. de A., & Sobral, M. F. F. (2024). The role of certifications and eco-labels in fisheries: A systematic literature review of their benefits and challenges. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 200. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-01018-0>
- Del Borghi, A., Moreschi, L., & Gallo, M. (2020). Communication through ecolabels: How discrepancies between the EU PEF and EPD schemes could affect outcome consistency. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(5), 905–920.
- Del Vecchio, P., Mele, G., Ndou, V., & Secundo, G. (2018). Open Innovation and Social Big Data for Sustainability: Evidence from the Tourism Industry. *Sustainability*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/su10093215>
- Descoperă Eco-România. (s.d.). *Certification System*. <https://www.eco-romania.ro/en/certification-system/>
- Dias, F., Lavaredas, A. M., & Esteves, P. (2024). What Is the Value of an Environmental Certification Label in Tourism Industry? Is It Worth the Effort? *Sustainability*, 16(19), 8587. <https://doi.org/10.3390/su16198587>
- Dickinson, J. E., Lumsdon, Les M., & and Robbins, D. (2011). Slow travel: Issues for tourism and climate change. *Journal of Sustainable Tourism*, 19(3), 281–300. <https://doi.org/10.1080/09669582.2010.524704>
- Donatello, S., Cordella, M., Kaps, R., Kowalska, M., & Wolf, O. (2020). Are the existing EU Ecolabel criteria for furniture products too complex? An analysis of complexity from a material and a supply chain perspective and suggestions for ways ahead. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(5), 868–882. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01601-1>
- EarthCheck. (s.d.). *EarthCheck Certified*. EarthCheck. <https://earthcheck.org/what-we-do/certification/earthcheck-certified/>
- EASA. (2026). *Programme de l'EASA dans le domaine de l'aviation durable*. Agence de l'Union Européenne Pour La Sécurité Aérienne (EASA). <https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/easas-sustainable-aviation-programme>
- EcoLabel Luxembourg. (s.d.). *Les critères de l'EcoLabel Lux*. EcoLabel Luxembourg. <https://www.ecolabel.lu/lecolabel-lu/les-criteres-de-lecolabel/>
- Ecotourism Kenya. (2016). *Ecotourism Kenya Eco-rating Certification Scheme*. Ecotourism Kenya. <https://ecotourismkenya.org/wp-content/uploads/2017/05/Ecotourism-Kenya-Eco-rating-Certification-Scheme-Sep-2016.pdf>
- Efrat Efron, S., & Ravid, R. (2019). *Writing The literature Review: A Practical Guide*. The Guilford Press.

- Eijgelaar, E., & Peeters, P. (2024). The Global Footprint of Tourism. In C. M. Hall (Ed.), *The Wiley Blackwell Companion to Tourism* (1st ed., pp. 533–547). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119753797.ch36>
- Eissens-van der Laan, M., Broekhuis, M., van Offenbeek, M., & Ahaus, K. (2016). Service decomposition: A conceptual analysis of modularizing services. *International Journal of Operations & Production Management*, 36(3), 308–331. <https://doi.org/10.1108/ijopm-06-2015-0370>
- Elhoushy, S., Elzek, Y., & Font, X. (2025). Sustainable tourism certification: A systematic literature review and suggested ways forward. *Journal of Sustainable Tourism*, 1(27), 1–29. <https://doi.org/10.1080/09669582.2025.2487674>
- Ethiraj, S. K., & Levinthal, D. (2004). Modularity and Innovation in Complex Systems. *Management Science*, 50(2), 159–173. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1030.0145>
- European Commission. (n/a). *About the EU Ecolabel: The EU official voluntary label for environmental excellence*. https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy-topics/eu-ecolabel/about-eu-ecolabel_en
- European Commission. (s.d.). *EU Ecolabel Tourist accommodation*. https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy-topics/eu-ecolabel/product-groups-and-criteria/tourist-accommodation_en
- Fair Trade Tourism. (s.d.). *Fair Trade Tourism—Join the Fair Trade Tourism journey*. <https://www.fairtradetourism.org/join>
- Federal Ministry for Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology & VKI, Association for Consumer Information. (2023). *Österreichisches Umweltzeichen. Tourism, catering and cultural businesses*. (Guideline UZ 200 Version 8; pp. 1–103). Austrian Ecolabel and VKI. https://www.umweltzeichen.at/file/Guideline/UZ%20200/Long/Ec200_R8.0a_Tourism_catering_and_cultural-businesses_2023.pdf
- Fernandes Martins, K., Teixeira, D., & De Oliveira Corrêa, R. (2022). Gains in sustainability using Voluntary Sustainability Standards: A systematic review. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 5, 100084. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100084>
- Filimonau, V. (2016). *Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Analysis in Tourism. A Critical Review of Applications and Implications*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26224-6>
- Filimonau, V., Dickinson, J. E., Robbins, D., & Reddy, M. V. (2011). A critical review of methods for tourism climate change appraisal: Life cycle assessment as a new approach. *Journal of Sustainable Tourism*, 19(3), 301–324. <https://doi.org/10.1080/09669582.2010.527345>
- Filimonau, V., Dickinson, J., & Robbins, D. (2014). The carbon impact of short-haul tourism: A case study of UK travel to Southern France using life cycle analysis. *Journal of Cleaner Production*, 64, 628–638. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.052>

- Filimonau, V., Dickinson, J., Robbins, D., & Huijbregts, M. A. J. (2011). Reviewing the carbon footprint analysis of hotels: Life Cycle Energy Analysis (LCEA) as a holistic method for carbon impact appraisal of tourist accommodation. *Journal of Cleaner Production*, 19(17–18), 1917–1930. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.002>
- Filimonau, V., Dickinson, J., Robbins, D., & Reddy, M. V. (2013). The role of ‘indirect’ greenhouse gas emissions in tourism: Assessing the hidden carbon impacts from a holiday package tour. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 54, 78–91. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.07.002>
- Fischer, C., & Lyon, T. P. (2014). Competing Environmental Labels. *Journal of Economics & Management Strategy*, 23(3), 692–716. <https://doi.org/10.1111/jems.12061>
- Flowers, M. E., Matisoff, D. C., & Noonan, D. S. (2020). In the LEED: Racing to the Top in Environmental Self-Regulation. *Business Strategy and the Environment*, 29(6), 2842–2856. <https://doi.org/10.1002/bse.2547>
- Font Vivanco, D., Kemp, R., van der Voet, E., & Heijungs, R. (2014). Using LCA-based Decomposition Analysis to Study the Multidimensional Contribution of Technological Innovation to Environmental Pressures. *Journal of Industrial Ecology*, 18(3), 380–392. <https://doi.org/10.1111/jiec.12118>
- Font, X. (2002). Environmental certification in tourism and hospitality: Progress, process and prospects. *Tourism Management*, 23(3), 197–205. [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(01\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(01)00084-X)
- Font, X., Andreu, L., Mattila, A. S., & Aldas-Manzano, J. (2025). Sustainability information overload: Its effect on customers’ greenwashing perceptions, perceived value, and behavioral intentions. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 62, 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2025.01.013>
- Font, X., & Buckley, R. (Eds.). (2001). *Tourism ecolabelling: Certification and promotion of sustainable management* (print on demand). CABI Publ.
- Font, X., Elgammal, Islam, & and Lamond, I. (2017). Greenhushing: The deliberate under communicating of sustainability practices by tourism businesses. *Journal of Sustainable Tourism*, 25(7), 1007–1023. <https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1158829>
- Framarin, A., & Déry, V. (2021). *Les revues narratives: Fondements scientifiques pour soutenir l’établissement de repères institutionnels*. Institut national de santé publique du Québec.
- Furumo, P. R., Rueda, X., Rodriguez, J. S., & Pares Ramos, I. K. (2020). Field evidence for positive certification outcomes on oil palm smallholder management practices in Colombia. *Journal of Cleaner Production, J. Clean. Prod. (Netherlands)*, 245(Copyright 2020, The Institution of Engineering and Technology), 118891 (16 pp.). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118891>
- Gadre, S., Esterman, M., & Thorn, B. K. (2017, November 3). *Implementation of an Object-Oriented Life Cycle Assessment Framework Using Functional Analysis and Systems Engineering Principles*. ASME 2017 International Design Engineering Technical

- Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. <https://doi.org/10.1115/DETC2017-68303>
- Ghazzai, H., & Lahmandi-Ayed, R. (2022). Ecolabel: Is More Information Better? *Environmental Modeling & Assessment*, 27(3), 505–524. <https://doi.org/10.1007/s10666-021-09791-5>
- Glasbergen, P. (2018). Smallholders do not Eat Certificates. *Ecological Economics*, 147, 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.01.023>
- Global Ecolabelling Network. (2017). *GEN POSITION ON THE ISO 14024 STANDARD: Type I Environmental Labelling*. <https://globalecolabelling.net/wp-content/uploads/2022/10/GEN-POSITION-ON-THE-ISO-14024-GUIDANCE-STANDARD-2017.pdf.pdf>
- Gonzalez-Torres, M., Bertoldi, P., Castellazzi, L., & Perez-Lombard, L. (2023). Review of EU product energy efficiency policies: What have we achieved in 40 years? *Journal of Cleaner Production*, 421, 138442. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138442>
- Good Travel Institute. (s.d.). *Good Travel Seal*. <https://gti.greendestinations.org/good-travel-seal/>
- Gössling, S., Balas, M., Mayer, M., & Sun, Y.-Y. (2023). A review of tourism and climate change mitigation: The scales, scopes, stakeholders and strategies of carbon management. *Tourism Management*, 95, 104681. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2022.104681>
- Gössling, S., & Buckley, R. (2016). Carbon labels in tourism: Persuasive communication? *Journal of Cleaner Production, Special Volume: Sustainable Tourism: Progress, Challenges and Opportunities*, 111, 358–369. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.067>
- Gössling, S., Humpe, A., & Sun, Y.-Y. (2024). Are emissions from global air transport significantly underestimated? *Current Issues in Tourism*, 0(0), 1–14. <https://doi.org/10.1080/13683500.2024.2337281>
- Gössling, S., Peeters, P., Ceron, J.-P., Dubois, G., Patterson, T., & Richardson, R. B. (2005). The eco-efficiency of tourism. *Ecological Economics*, 54(4), 417–434. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.006>
- Gössling, S., & Reinhold, S. (2024). Accelerating small and medium sized tourism enterprises' engagement with climate change. *Journal of Sustainable Tourism*, 33(5), 840–857. <https://doi.org/10.1080/09669582.2024.2350659>
- Gössling, S., Sun, Y.-Y., & Humpe, A. (2026). Tour operators and climate change: Net-zero goals and carbon risks. *Current Issues in Tourism*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/13683500.2026.2616318>
- Gouvernement du Canada. (2024). *Déclarations environnementales et la Loi sur la concurrence*. Gouvernement Du Canada. <https://bureau-concurrence.canada.ca/fr/comment-nous-favorisons-concurrence/education-sensibilisation/publications/declarations-environnementales-loi-concurrence>
- Graedel, T. E. (1997). Life-Cycle Assessment in the Service Industries. *Journal of Industrial Ecology*, 1(4), 57–70. <https://doi.org/10.1162/jiec.1997.1.4.57>

- Green Destinations Certification. (s.d.). *About the Certification Program*. <https://cb.greendestinations.org/certification/>
- Green Globe. (s.d.). *Green Globe Standards for Sustainable Tourism*. <https://www.greenglobe.com/green-globe-standard>
- Green Leaf Foundation. (s.d.). *Green Leaf Programs*. Green Leaf Thai. <https://www.greenleafthai.org/en/green-leaf-programs/>
- Green Seal. (2017). *Standard for Hotels and Lodging Properties (GS-33)* (Edition 5.3). Green Seal. <https://greenseal.org/wp-content/uploads/GS-33-Standard-Ed-5.3-01.2025.pdf>
- Green Tourism. (s.d.). *Green Tourism Certification*. Green. <https://www.green-tourism.com/certifications/green-tourism-certification/>
- Greenhalgh, T., Thorne, S., & Malterud, K. (2018). Time to challenge the spurious hierarchy of systematic over narrative reviews? *European Journal of Clinical Investigation*, 48(6), e12931. <https://doi.org/10.1111/eci.12931>
- Groetsch, T., Creighton, C., Varley, R., Kaluza, A., Dér, A., Cerdas, F., & Herrmann, C. (2021). A modular LCA/LCC-modelling concept for evaluating material and process innovations in carbon fibre manufacturing. *Procedia CIRP, The 28th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, March 10 – 12, 2021, Jaipur, India*, 98, 529–534. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.146>
- Grydehøj, A., & Kelman, I. (2017). The eco-island trap: Climate change mitigation and conspicuous sustainability. *Area*, 49(1), 106–113. <https://doi.org/10.1111/area.12300>
- GSTC. (2024). *Global Sustainable Tourism Council (GSTC) Annual Report 2023*. <https://www.gstc.org/wp-content/uploads/GSTC-Annual-Report-2023.pdf>
- Gu, P., Hashemian, M., Sosale, S., & Rivin, E. (1997). An Integrated Modular Design Methodology for Life-Cycle Engineering. *CIRP Annals*, 46(1), 71–74. [https://doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)60778-1](https://doi.org/10.1016/s0007-8506(07)60778-1)
- Hamilton, S. F., & Zilberman, D. (2006). Green markets, eco-certification, and equilibrium fraud. *Journal of Environmental Economics and Management*, 52(3), 627–644. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2006.05.002>
- Hansen, A., & Cox, J. R. (Eds.). (2015). *The Routledge handbook of environment and communication*. Routledge.
- Hernandez-Maskivker, G., Nicoara-Popescu, D., & Fornells Herrera, A. (2025). Sustainability and competitive advantage in small restaurants: A dynamic resource–relationship framework. *Academia Revista Latinoamericana de Administracion*, 1–24. <https://doi.org/10.1108/ARLA-02-2025-0038>
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 75–105.
- Heyn, P. C., Meeks, S., & Pruchno, R. (2019). Methodological Guidance for a Quality Review Article. *The Gerontologist*, 59(2), 197–201. <https://doi.org/10.1093/geront/gny123>

- Hirose, K., & Mishima, N. (2019). Eco-efficiency Evaluation of Modular Design Smartphones. *Procedia CIRP*, 84, 1054–1058. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.189>
- Hou, Y., Guo, P., Kannan, D., & Govindan, K. (2023). Optimal eco-label choice strategy for environmentally responsible corporations considering government regulations. *Journal of Cleaner Production*, 418, 138013. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138013>
- Huang, X. (2023). Ecotourism certification and regional low-carbon sustainable development: A quasi-experimental study based on the Prototype-zone of National Ecotourism Attractions in China. *Journal of Cleaner Production*, 423, 138731. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138731>
- Hunke, F., & Satzger, G. (2024). Reuse of service concept elements for modular service design. *Journal of Service Management*, 35(6), 216–241. <https://doi.org/10.1108/JOSM-04-2024-0171>
- Instituto Costarricense de Turismo. (2026). *CST Tourism Sustainability*. Instituto Costarricense de Turismo. <https://www.ict.go.cr/en/sustainability/cst.html#satisfaction>
- International Organization for Standardization. (2006). *Environmental labels and declarations. Type III environmental declarations. Principles and procedures*. (ISO 14025). International Organization for Standardization. (Published)
- International Organization for Standardization. (2019). *Environmental labels*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2022). *Environmental statements and programmes for products—Principles and general requirements*. (ISO 14020). International Organization for Standardization. (Published)
- Iraldo, F., Griesshammer, R., & Kahlenborn, W. (2020). The future of ecolabels. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(5), 833–839. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01741-9>
- Janßen, D., & Langen, N. (2017). The bunch of sustainability labels – Do consumers differentiate? *Journal of Cleaner Production*, 143, 1233–1245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.171>
- Japan Environment Association Eco Mark Office. (2019). *Eco Mark Product Category No. 503 .“Hotels and Inns Version 2.3” Certification Criteria*. Japan Environment Association Eco Mark Office. https://www.ecomark.jp/nintei/pdf/e503V2_a.pdf
- Jere Jakulin, T. (2017). Systems Approach to Tourism: A Methodology for Defining Complex Tourism System. *Organizacija*, 50(3), 208–215. <https://doi.org/10.1515/orga-2017-0015>
- Johnson, C. N. (2002). The benefits fo PDCA. *Quality Progress*, 35(5), 120.
- Johnson, P., Nicholls, S., Student, J., Amelung, B., Baggio, R., Balbi, S., Boavida-Portugal, I., de Jong, E., Hofstede, G. J., Lamers, M., Pons, M., & Steiger, R. (2016). Easing the adoption of agent-based modelling (ABM) in tourism research. *Current Issues in Tourism*, 20(8), 801–808. <https://doi.org/10.1080/13683500.2016.1209165>

- Johnston, R. J., & Tyrrell, T. J. (2016). A Dynamic Model of Sustainable Tourism. *Journal of Travel Research*, 44(2), 124–134. <https://doi.org/10.1177/0047287505278987>
- Jurin, R. R., Roush, D., & Danter, K. J. (2010). *Environmental Communication* (Second). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3987-3>
- Karlsson, L., & Dolnicar, S. (2016). Does eco certification sell tourism services? Evidence from a quasi-experimental observation study in Iceland. *Journal of Sustainable Tourism*, 24(5), 694–714. <https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1088859>
- Kitamura, Y., Ichisugi, Y., Karkour, S., & Itsubo, N. (2020). Carbon Footprint Evaluation Based on Tourist Consumption toward Sustainable Tourism in Japan. *Sustainability*, 12(6), 2219. <https://doi.org/10.3390/su12062219>
- Klöckner, C. A. (2015). *The Psychology of Pro-Environmental Communication: Beyond Standard Information Strategies*. Springer.
- Koerner, L. M., Melnychuk, M. C., & Jardim, E. (2024). Testing the sensitivity of fishery assessment scores to changes in the MSC Fisheries Standard requirements. *Marine Policy*, 161, 106005. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2024.106005>
- Konstantas, A., Stamford, L., & Azapagic, A. (2020). A framework for evaluating life cycle eco-efficiency and an application in the confectionary and frozen-desserts sectors. *Sustainable Production and Consumption*, 21, 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2019.12.006>
- Kumar kar, S., & Harichandan, S. (2022). Green marketing innovation and sustainable consumption: A bibliometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 361, 132290-.
- Kürüm Varolgüneş, F., Varolgüneş, S., del Río-Rama, M. de la C., & Durán-Sánchez, A. (2023). A proposal for the selection of green building standards through the analytical hierarchy process (AHP): A roadmap for green hotels in Turkey. *Quality & Quantity*, 1–25. <https://doi.org/10.1007/s11135-023-01756-y>
- Ladyman, J., Lambert, J., & Wiesner, K. (2013). What is a complex system? *European Journal for Philosophy of Science*, 3(1), 33–67. <https://doi.org/10.1007/s13194-012-0056-8>
- Lafrenz Samuels, K., & Platts, E. J. (2020). An Ecolabel for the World Heritage Brand? Developing a Climate Communication Recognition Scheme for Heritage Sites. *Climate*, 8(3), 38. <https://doi.org/10.3390/cli8030038>
- Langlois, R. N. (2002). Modularity in technology and organization. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 49(1), 19–37. [https://doi.org/10.1016/S0167-2681\(02\)00056-2](https://doi.org/10.1016/S0167-2681(02)00056-2)
- Lavallée, S., & Barentsein, K. (2004). La régulation et l’harmonisation internationale des programmes d’écolabels sur les produits et les services. *Revue internationale de droit économique*, t. XVIII, 1(1), 47–77. <https://doi.org/10.3917/ride.181.0047>
- Liu, J., Zhang, J., & Fu, Z. (2017). Tourism eco-efficiency of Chinese coastal cities – Analysis based on the DEA-Tobit model. *Ocean & Coastal Management*, 148, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.08.003>

- Lonca, G., Bernard, S., & Margni, M. (2019). A versatile approach to assess circularity: The case of decoupling. *Journal of Cleaner Production*, 240, 118174. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118174>
- Lozano, J., Arbulú, I., & Rey-Maqueira, J. (2016). The Greening Role of Tour Operators. *Environmental Management*, 57(1), 49–61. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0587-9>
- Lu, F., Qin, W., & Wang, Y.-X. (2021). Research on Spatial Pattern Dynamic Evolution Algorithm and Optimization Model Construction and Driving Mechanism of Provincial Tourism Eco-Efficiency in China under the Background of Cloud Computing. *Scientific Programming*, 2021, 1951264. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2021/1951264>
- Lyon, T. P., & Maxwell, J. W. (2011). Greenwash: Corporate Environmental Disclosure under Threat of Audit. *Journal of Economics & Management Strategy*, 20(1), 3–41. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9134.2010.00282.x>
- Lyon, T. P., & Montgomery, A. W. (2015). The Means and End of Greenwash. *Organization & Environment*, 28(2), 223–249. <https://doi.org/10.1177/1086026615575332>
- MacLennan, J., & De Catelle, W. (2025). The Revision of EU Greenwashing Laws: A New Framework of Analysis. *Business and Human Rights Journal*, 10(2–3), 456–462. <https://doi.org/10.1017/bhj.2025.14>
- Majeed, S., & Kim, W. G. (2023). A reflection of greenwashing practices in the hospitality industry: A scoping review. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 35(3), 1125–1146. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-04-2022-0495>
- Mancini, M., Evans, M., Iha, K., Danelutti, C., & Galli, A. (2018). Assessing the Ecological Footprint of Ecotourism Packages: A Methodological Proposition. *Resources*, 7(2), 1–28. <https://doi.org/10.3390/resources7020038>
- Marx, A., Depoorter, C., & Vanhaecht, R. (2022). Voluntary Sustainability Standards: State of the Art and Future Research. *Standards*, 2(1), 14–31. <https://doi.org/10.3390/standards2010002>
- McDonald, J. R. (2009). Complexity science: An alternative world view for understanding sustainable tourism development. *Journal of Sustainable Tourism*, 17(4), 455–471. <https://doi.org/10.1080/09669580802495709>
- Meis-Harris, J., Klemm, C., Kaufman, S., Curtis, J., Borg, K., & Bragge, P. (2021). What is the role of eco-labels for a circular economy? A rapid review of the literature. *Journal of Cleaner Production*, 306, 127134. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127134>
- Micheli, G. J., Trucco, P., Sabri, Y., & Mancini, M. (2019). Modularization as a system life cycle management strategy: Drivers, barriers, mechanisms and impacts. *International Journal of Engineering Business Management*, 11. <https://doi.org/10.1177/1847979018825041>
- Míguez, J. L., Rivo-López, E., Porteiro, J., & Pérez-Orozco, R. (2023). Selection of non-financial sustainability indicators as key elements for multi-criteria analysis of hotel chains. *Sustainable Production and Consumption*, 35, 495–508. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.12.004>

- Miller, G., & Torres-Delgado, A. (2023). *Measuring sustainable tourism: A state of the art review of sustainable tourism indicators*. *Journal of Sustainable Tourism*, 1483–1496. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09669582.2023.2213859>
- Ministères transition écologique aménagement du territoire transports ville et logement. (2025). *Indice de durabilité*. Ministères Transition Écologique Aménagement Du Territoire Transports Ville et Logement. <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/indice-durabilite>
- Minkov, N., Schneider, L., Lehmann, A., & Finkbeiner, M. (2015). Type III Environmental Declaration Programmes and harmonization of product category rules: Status quo and practical challenges. *Journal of Cleaner Production*, 94, 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.012>
- Miralles, C. C., Roura, M. B., Salas, S. P., Argelaguet, L. L., & Jordà, J. C. (2024). Assessing the socio-economic impacts of tourism packages: A methodological proposition. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 29, 1096–1115. <https://doi.org/10.1007/s11367-024-02284-z>
- Mogyoros, A. (2023). Improving eco-labels: Are green certification marks up to the task? *Journal of Intellectual Property Law & Practice*, 18(5), 367–374. <https://doi.org/10.1093/jiplp/jpad029>
- Montgomery, A. W., Lyon, T. P., & Barg, J. (2024). No End in Sight? A Greenwash Review and Research Agenda. *Organization & Environment*, 32(2), 221–256.
- Moser, S. C. (2016). Reflections on climate change communication research and practice in the second decade of the 21st century: What more is there to say? *WIREs Climate Change*, 7(3), 345–369. <https://doi.org/10.1002/wcc.403>
- Muller, L., Lacroix, A., & Ruffieux, B. (2019). Environmental Labelling and Consumption Changes: A Food Choice Experiment. *Environmental and Resource Economics*, 73(3), 871–897. <https://doi.org/10.1007/s10640-019-00328-9>
- Münch, C., Marx, E., Benz, L., Hartmann, E., & Matzner, M. (2022). Capabilities of digital servitization: Evidence from the socio-technical systems theory. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121361. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121361>
- Mzembe, A. N., Lindgreen, A., Idemudia, U., & Melissen, F. (2020). A club perspective of sustainability certification schemes in the tourism and hospitality industry. *Journal of Sustainable Tourism*, 28(9), 1332–1350. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1737092>
- Negi, A., Pérez-Pineda, J. A., & Blankenbach, J. (Eds.). (2020). *Sustainability Standards and Global Governance: Experiences of Emerging Economies*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-3473-7>
- Nguyen, H. A. T., Gheewala, S. H., Sophea, T., Areerob, T., Hashimoto, K., Pimonsree, S., & Prueksakorn, K. (2020). Comparative carbon footprint assessment of agricultural and

- tourist locations in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122407. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122407>
- Nistoreanu, P., Aluculesei, A.-C., & Avram, D. (2020). Is Green Marketing a Label for Ecotourism? The Romanian Experience. *Information*, 11(8), 389. <https://doi.org/10.3390/info11080389>
- Nordic Swan Ecolabel. (n.d.). *Hotels and other accommodation 055*. <https://www.nordic-swan-ecolabel.org/criteria/hotels-and-other-accommodation-055/>
- ONU Tourisme. (2025). *International tourism recovers prepandemic levels in 2024*. UN Tourism. <https://pre-webunwto.s3.eu-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/2025-01/250121-international-tourism-recovers-pre-pandemic-levels-in-2024-en.pdf?VersionId=ovmuzZ2meG1dAr6T7LrgFky.fFxTzGcP>
- ONU Tourisme. (2026). *Les arrivées de touristes internationaux ont augmenté de 4 % en 2025 grâce à la forte demande de voyages partout dans le monde*. <https://pre-webunwto.s3.eu-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/2026-01/260120-international-tourist-arrivals-up-4-in-2025-reflecting-strong-travel-demand-around-the-world-fr.pdf?VersionId=8EJal.83sJ7wWQcF04dZ0hm6HMeAdsKf>
- Onur, M., Soylu, A. G., Yorgancı, B., & Kılıçhan, R. (2026). A Systematic and Thematic Review of Greenwashing in the Tourism and Hospitality Industry. *Sustainability*, 18(3), 1255. <https://doi.org/10.3390/su18031255>
- Papargyropoulou, E., Wright, N., Lozano, R., Steinberger, J., Padfield, R., & Ujang, Z. (2016). Conceptual framework for the study of food waste generation and prevention in the hospitality sector. *Waste Management*, 49, 326–336. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.017>
- Parlement européen. (2024). *“Green claims” directive. Protecting consumers from greenwashing* [Briefing]. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/753958/EPRS_BRI\(2023\)753958_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/753958/EPRS_BRI(2023)753958_EN.pdf)
- Parlement européen (Director). (2025). *Press conference by Sandro GOZI (Renew, FR) and Tiemo WÖLKEN (S&D, DE), Co-rapporteurs on the reaction to the cancellation of the last trilogue on Green Claims Directive* [Video recording]. https://multimedia.europarl.europa.eu/en/webstreaming/press-conference-by-sandro-gozi-renew-fr-and-tiemo-wolken-s-d-de-co-rapporteurs-on-reaction-to-cance_20250623-1515-SPECIAL-PRESSER
- Pásková, M., Wall, G., Zejda, D., & Zelenka, J. (2021). Tourism carrying capacity reconceptualization: Modelling and management of destinations. *Journal of Destination Marketing & Management*, 21, 100638. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2021.100638>
- Pekkarinen, S., & Ulkuniemi, P. (2008). Modularity in developing business services by platform approach. *The International Journal of Logistics Management*, 19(1), 84–103. <https://doi.org/10.1108/09574090810872613>

- Peng, H., Zhang, J., Lu, L., Tang, G., Yan, B., Xiao, X., & Han, Y. (2017). Eco-efficiency and its determinants at a tourism destination: A case study of Huangshan National Park, China. *Tourism Management*, 60, 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.12.005>
- Pezzullo, P. C., & Cox, J. R. (2022). *Environmental communication and the public sphere* (Sixth edition). SAGE.
- Polverini, D., Dodd, N., & Espinosa, N. (2021). Potential regulatory approaches on the environmental impacts of photovoltaics: Expected improvements and impacts on technological innovation. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 29(1), 83–97. <https://doi.org/10.1002/pip.3344>
- Ponte, S. (2022). The hidden costs of environmental upgrading in global value chains. *Review of International Political Economy*, 29(3), 818–843. <https://doi.org/10.1080/09692290.2020.1816199>
- Potts, J., Huppé, G. A., Voora, V., Wilkings, A., International Institute for Sustainable Development, & International Institute for Environment and Development (Eds.). (2014). *The state of sustainability initiatives review 2014: Standards and the green economy*. IISD.
- Prag, A., Lyon, T., & Russillo, A. (2016). *Multiplication of Environmental Labelling and Information Schemes (ELIS): Implications for Environment and Trade* (OECD Environment Working Papers No. 106; OECD Environment Working Papers, Vol. 106). <https://doi.org/10.1787/5jm0p33z27wf-en>
- Prieto-Sandoval, V., Alfaro, J. A., Mejía-Villa, A., & Ormazabal, M. (2016). ECO-labels as a multidimensional research topic: Trends and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 135, 806–818. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.167>
- Prieto-Sandoval, V., Mejía-Villa, A., Ormazabal, M., & Jaca, C. (2020). Challenges for ecolabeling growth: Lessons from the EU Ecolabel in Spain. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(5), 856–867. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01611-z>
- Purwaningsih, R., Agusti, F., Pranomo, S. N. W., Susanty, A., & Purwanggono, B. (2020). Assessment sustainable tourism: A literature review composite indicator. *E3S Web of Conferences*, 202, 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020203001>
- Qi, J., & Yu, Z. (2025). China's carbon labeling legal system and green supply chain management from the perspective of sustainability: Status quo, implementation problems and legislative recommendations. *Carbon Management*, 16(1), 2451859. <https://doi.org/10.1080/17583004.2025.2451859>
- Reiser, A., & Simmons, D. G. (2005). A Quasi-experimental Method for Testing the Effectiveness of Ecolabel Promotion. *Journal of Sustainable Tourism*, 13(6), 590–616. <https://doi.org/10.1080/09669580508668583>
- République française. (s.d.). *Label Clef Verte* [Gouvernemental]. République française. Transition écologique des entreprises. <https://mission-transition-ecologique.beta.gouv.fr/aides-entreprise/label-clef-verte>

- République française & ADEME. (2025). *Affichage environnemental*. Affichage Environnemental - Ecolabelling. <https://affichage-environnemental.ademe.fr/#actualit%C3%A9s-et-priorit%C3%A9s>
- Righi, A. W., & Saurin, T. A. (2015). Complex socio-technical systems: Characterization and management guidelines. *Applied Ergonomics*, 50, 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.02.003>
- Rodríguez-García, R., Ferrero-Ferrero, I., & Fernández-Izquierdo, M. Á. (2023). Analysis of integration of sustainability in sustainability certifications in the hotel industry. *Frontiers in Sustainability*, 4. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2023.1116359>
- Roesch, A., Douziech, M., Mann, S., Lansche, J., & Gaillard, G. (2025). Consequences of the use or absence of life cycle assessment in novel environmental assessment methods and food ecolabels. *Cleaner Production Letters*, 8, 100087. <https://doi.org/10.1016/j.clpl.2024.100087>
- Rome, A., Crabtree, A., Bien, A., Hamele, H., & Spenceley, A. (2006). *Financial Sustainability of Sustainable Tourism Certification Programs* [Technical report]. The International Ecotourism Society. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1087.2162>
- Rubik, F., Scheer, D., & Iraldo, F. (2008). Eco-labelling and product development: Potentials and experiences. *International Journal of Product Development*, 6(3/4), 393. <https://doi.org/10.1504/IJPD.2008.020401>
- Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., & Lorensen, B. (1991). *Object-oriented modeling and design*. Prentice Hall.
- Saadé, M., & Jolliet, O. (2024). *Analyse du cycle de vie. Comprendre et réaliser un écobilan*. (4th ed.). EPFL Press.
- Sahahiri, R. M., Griffin, A. L., & Sun, Q. (Chayn). (2023). Investigating Ecotourism Opportunities Measurements in a Complex Adaptive System: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 15(3), 2678. <https://doi.org/10.3390/su15032678>
- Sasidharan, V., Sirakaya, E., & Kerstetter, D. (2002). Developing countries and tourism ecolabels. *Tourism Management*, 23(2), 161–174. [https://doi.org/10.1016/S0261-5177\(01\)00047-4](https://doi.org/10.1016/S0261-5177(01)00047-4)
- Schianetz, K., Kavanagh, L., & Lockington, D. (2007). Concepts and Tools for Comprehensive Sustainability Assessments for Tourism Destinations: A Comparative Review. *Journal of Sustainable Tourism*, 15(4), 369–389. <https://doi.org/10.2167/jost659.0>
- Schwartz, K., Tapper, R., & Font, X. (2008). A Sustainable Supply Chain Management Framework for Tour Operators. *Journal of Sustainable Tourism*, 16(3), 298–314. <https://doi.org/10.1080/09669580802154108>
- Siegenfeld, A. F., & Bar-Yam, Y. (2020). An Introduction to Complex Systems Science and Its Applications. *Complexity*, 2020, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2020/6105872>
- Sigala, M. (2008). A supply chain management approach for investigating the role of tour operators on sustainable tourism: The case of TUI. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1589–1599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.021>

- Simon, H. A. (1962). The Architecture of Complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467–482.
- Sonego, M., Echeveste, M. E. S., & Galvan Debarba, H. (2018). The role of modularity in sustainable design: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 176, 196–209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.106>
- Spykman, R., Hossaini, S. M., Peguero, D. A., Green, A., Heinz, V., & Smetana, S. (2021). A modular environmental and economic assessment applied to the production of *Hermetia illucens* larvae as a protein source for food and feed. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(10), 1959–1976. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01986-y>
- Student, J., Amelung, B., & Lamers, M. (2016). Towards a tipping point? Exploring the capacity to self-regulate Antarctic tourism using agent-based modelling. *Journal of Sustainable Tourism*, 24(3), 412–429. <https://doi.org/10.1080/09669582.2015.1107079>
- Su, Y., Ben Abdallah, S., & Saidane, D. (2026). On the edge of green: How environmental performance benchmarks drive corporate greenwashing behavior? *Journal of Business Research*, 206, 115919. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2025.115919>
- Sun, Y., Hou, G., Huang, Z., & Zhong, Y. (2020). Spatial-Temporal Differences and Influencing Factors of Tourism Eco-Efficiency in China's Three Major Urban Agglomerations Based on the Super-EBM Model. *Sustainability*, 12(10), 4156. <https://doi.org/10.3390/su12104156>
- Sun, Y.-Y., Faturay, F., Lenzen, M., Gössling, S., & Higham, J. (2024). Drivers of global tourism carbon emissions. *Nature Communications*, 15(1), 10384. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54582-7>
- Sun, Y.-Y., Lin, P.-C., & Higham, J. (2020). Managing tourism emissions through optimizing the tourism demand mix: Concept and analysis. *Tourism Management*, 81, 104161. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2020.104161>
- Sureeyatanapas, P., Yodprang, K., & Varabuntoonvit, V. (2021). Drivers, Barriers and Benefits of Product Carbon Footprinting: A State-of-the-Art Survey of Thai Manufacturers. *Sustainability*, 13(12), 6543. <https://doi.org/10.3390/su13126543>
- Tanguay, G. A., Rajaonson, J., & Therrien, M.-C. (2011). Sustainable Tourism Indicators: Selection Criteria for Policy Implementation and Scientific Recognition. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1948674>
- Teigeiro, S., Bernard, S., & Frayret, J.-M. (2025). *A Modular Modelling Framework of Tourism Sustainability: The case of Eco-Efficiency* (Research Paper CIRRELT-25-28; p. 27). Interuniversity Research Centre on Enterprise Networks, Logistics and Transportation. <https://www.cirrelt.ca/documentstravail/cirrelt-2025-28.pdf>
- Tepelus, C. M. (2005). Aiming for sustainability in the tour operating business. *Sustainable Tourism*, 13(Compendex), 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2003.12.018>
- Thamagasorn, M., & Pharino, C. (2019). An analysis of food waste from a flight catering business for sustainable food waste management: A case study of halal food production process.

- Journal of Cleaner Production*, 228, 845–855.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.312>
- Tiago, F., Gil, A., Stemberger, S., & Borges-Tiago, T. (2021). Digital sustainability communication in tourism. *Journal of Innovation & Knowledge*, 6(1), 27–34.
<https://doi.org/10.1016/j.jik.2019.12.002>
- Torelli, R., Balluchi, F., & Lazzini, A. (2020). Greenwashing and environmental communication: Effects on stakeholders' perceptions. *Business Strategy and the Environment*, 29(2), 407–421. <https://doi.org/10.1002/bse.2373>
- Torma, G., & Thøgersen, J. (2024). Can a meta sustainability label facilitate more sustainable consumer choices? *Business Strategy and the Environment*, 33(2), 283–306.
<https://doi.org/10.1002/bse.3488>
- Torres-Delgado, A., & Palomeque, F. L. (2014). Measuring sustainable tourism at the municipal level. *Annals of Tourism Research*, 49, 122–137.
<https://doi.org/10.1016/j.annals.2014.09.003>
- Torres-Delgado, A., & Saarinen, J. (2013). Using indicators to assess sustainable tourism development: A review. *Tourism Geographies*, 16(1), 31–47.
<https://doi.org/10.1080/14616688.2013.867530>
- Travelife Accommodation Sustainability. (s.d.). *The Travelife Certification Requirements*.
<https://travelifestaybetter.com/the-travelife-checklist/>
- Tsai, K.-T., Lin, T.-P., Hwang, R.-L., & Huang, Y.-J. (2014). Carbon dioxide emissions generated by energy consumption of hotels and homestay facilities in Taiwan. *Tourism Management*, 42, 13–21. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.08.017>
- Turunen, L. L. M., & Halme, M. (2021). Communicating actionable sustainability information to consumers: The Shades of Green instrument for fashion. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126605. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126605>
- Union européenne. (2017). *Informations sur la consommation de carburant et les émissions de CO2 des voitures neuves* [Summaries of EU Legislation]. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/FR/legal-content/summary/information-on-the-fuel-consumption-and-co2-emissions-of-new-cars.html>
- United Nations Environment Programme & World Tourism Organization. (2012). *Tourism in the Green Economy – Background Report*. UNWTO. <https://www.unenvironment.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/responsible-industry/tourism>
- United Nations World Tourism Organization. (2025, January 21). *International tourism recovers pre-pandemic levels in 2024*. United Nations World Tourism Organization. <https://www.unwto.org/news/international-tourism-recovers-pre-pandemic-levels-in-2024>
- Utovac, V. (2003). *Profil des campings et des pourvoiries* (Document de recherche No. 63F0002XIF; Série d'études analytiques, p. 12). Statistique Canada.

- <https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/pub/63f0002x/63f0002x2003047-fra.pdf?st=OCu35GZC>
- van der Ven, H. (2019). *Beyond greenwash: Explaining credibility in transnational eco-labeling*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190866006.001.0001>
- Viabono. (s.d.). *Viabono-Zertifizierungen* & *Checks*. <https://www.viabono.de/zertifizierung/viabono-zertifizierungen.html>
- Vijay Vaishnavi, B. K., and Stacie Petter. (2017). *Design Science Research in Information Systems*. <http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems/>
- von Drachenfels, N., Husmann, J., Khalid, U., Cerdas, F., & Herrmann, C. (2023). Life Cycle Assessment of the Battery Cell Production: Using a Modular Material and Energy Flow Model to Assess Product and Process Innovations. *Energy Technology*, 11(5), 2200673. <https://doi.org/10.1002/ente.202200673>
- Voss, C. A., & Hsuan, J. (2009). Service Architecture and Modularity. *Decision Sciences*, 40(3), 541–569. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2009.00241.x>
- Walker, P. A., Greiner, R., McDonald, D., & Lyne, V. (1998). The Tourism Futures Simulator: A systems thinking approach. *Environmental Modelling & Software*, 14(1), 59–67. [https://doi.org/10.1016/s1364-8152\(98\)00033-4](https://doi.org/10.1016/s1364-8152(98)00033-4)
- Wang, H., & Shu, C. (2020). Constructing a Sustainable Collaborative Innovation Network for Global Manufacturing Firms: A Product Modularity View and a Case Study From China. *IEEE Access*, 8, 173123–173135. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3025403>
- Wang, P. P., Ming, X. G., Li, D., Kong, F. B., Wang, L., & Wu, Z. Y. (2011). Modular Development of Product Service Systems. *Concurrent Engineering*, 19(1), 85–96. <https://doi.org/10.1177/1063293X11403508>
- Wang, S., & Su, D. (2022). Sustainable Product Innovation and Consumer Communication. *Sustainability*, 14(14), 8395. <https://doi.org/10.3390/su14148395>
- WBCSD. (2006). *Eco-efficiency Learning Module*. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). <https://www.wbcd.org/gf6v>
- Wehner, J., Vural, C. A., & Halldórsson, Á. (2020). Energy efficiency in logistics through service modularity: The case of household waste. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 51(1), 76–94. (world). <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2019-0267>
- Weston, R., Hemele, H., Balas, M., Denman, R., Pezzano, A., Sillence, G., Reiner, K., Grebenar, A., & Lawler, M. (2018). *Research for TRAN Committee – European Tourism Labelling*. European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies. <https://data.europa.eu/doi/10.2861/01367>
- Whitmore, J., & Pineault, P.-O. (2024). *État de l'énergie au Québec 2024*. Chaire de gestion du secteur de l'énergie, HEC Montréal. <https://energie.hec.ca/eeq/>

- World Health Organization. (2020). *WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2019* (Global Health Estimates Technical Paper WHO/DDI/DNA/GHE/2020.3; p. 46). World Health Organization. <https://www.who.int/data/gho/indicator-metadata-registry>
- World Tourism Organization and United Nations Development Programme. (2018). *Tourism and the Sustainable Development Goals – Journey to 2030*. UNEP. <https://doi.org/10.18111/9789284419401>
- World Tourism Organization (UNWTO) & United Nations Environment Programme (UNEP) (Eds.). (2019). *Baseline Report on the Integration of Sustainable Consumption and Production Patterns into Tourism Policies*. World Tourism Organization (UNWTO). <https://doi.org/10.18111/9789284420605>
- Wurster, S., & Ladu, L. (2020). Bio-Based Products in the Automotive Industry: The Need for Ecolabels, Standards, and Regulations. *Sustainability, Sustainability (Switzerland)*, 12(Copyright 2021, The Institution of Engineering and Technology), 1623 (22 pp.). <https://doi.org/10.3390/su12041623>
- Yang, H., He, S., Feng, Q., Xia, S., Zhou, Q., Wu, Z., & Zhang, Y. (2024). Navigating the depths of seafood authentication: Technologies, regulations, and future prospects. *Measurement: Food*, 14, 100165. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2024.100165>
- Yau, Y., Hou, H. (Cynthia), Yip, K. C., & Qian, Q. K. (2021). Transaction Cost and Agency Perspectives on Eco-Certification of Existing Buildings: A Study of Hong Kong. *Energies*, 14(19), 6375. <https://doi.org/10.3390/en14196375>
- Yokessa, M., & Marette, S. (2019). A Review of Eco-labels and their Economic Impact. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 13(1–2), 119–163. <https://doi.org/10.1561/101.00000107>

ANNEXE A EXEMPLES D'ÉCOLABELS TOURISTIQUES VÉRIFIÉS PAR DES TIERS

Tableau A.1 Exemples d'écolabels touristiques vérifiés par des tiers (recensement original des auteurs (2026))

Écolabel touristique	Origine	Portée géographique	Gouvernance	Biens et services	Enjeux de durabilité	Exemples de critères	Méthode d'évaluation	ODD	GSTC
Austrian Ecolabel for Tourism ¹¹	Autriche	Local	Public	Multisectoriel (hébergements, restauration, activités, destinations, événements, etc.)	Environnement, Social, Gouvernance	Critères de gestion environnementale et de communication, énergie, eau, déchets, économie circulaire, air, bruit, hygiène, bâtiment, équipement, construction, transport et mobilité, biodiversité	Notation par seuil et critères obligatoires		
Biosphere Responsible Tourism ¹²	Espagne	International	ONG	Entreprises et destinations	Environnement, Social, Économique, Gouvernance, Culture	Critères associés aux objectifs de développement durable des Nations Unies.	Notation par seuil, évaluation binaire et système à niveaux	x	
Blue Flag (Plages / Ports / Navigation durable) ¹³	France	International	ONG	Multisectoriel (plages, marinas, bateaux touristiques)	Environnement, Sécurité, Gouvernance	Qualité de l'eau, gestion des déchets et des eaux usées, énergie, action climatique, protection de la biodiversité, éducation, information, sécurité et accessibilité	Évaluation binaire (réussite / échec)		

Suite à la prochaine page.

¹¹ (Federal Ministry for Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology & VKI, Association for Consumer Information, 2023)

¹² <https://www.biospheretourism.com/en>

¹³ (Blue Flag, s.d.)

Tableau A.1 Exemples d'écotouristiques vérifiées par des tiers (recensement original des auteurs) (suite)

Écolabel touristique	Origine	Portée géographique	Gouvernance	Biens et services	Enjeux de durabilité	Exemples de critères	Méthode d'évaluation	ODD	GSTC
Clef Verte France (adapté) ¹⁴	France	Local	ONG	Hébergements, restaurants	Environnement, Social, Économique, Gouvernance	Gouvernance, sensibilisation, énergie, eau, déchets, achats durables, cadre de vie	Évaluation binaire (réussite / échec), critères obligatoires et progressifs	x	
CST – Costa Rica ¹⁵	Costa Rica	Local	Public	Multisectoriel (hébergements et services touristiques)	Environnement, Social, Économique, Culture	Pollution, produits chimiques, déchets, patrimoine, culture, sécurité, conservation, eau, énergie, éducation	Système à niveaux		x
EarthCheck ¹⁶	Australie	International	Privé	Multisectoriel (hébergements et services touristiques)	Environnement, Social, Économique, Gouvernance (niveau avancé)	Carbone, énergie, eau, déchets, produits chimiques, impacts sur les communautés et les employés, usage du papier, indicateurs propres	Étalonnage comparatif (benchmarki ng) et système à niveaux	x	x
ECO- Romania ¹⁷	Roumanie	Local	ONG	Hébergements, tours	Environnement, Social, Économique, Gouvernance	Gestion durable, espaces naturels, patrimoine, protection et conservation de l'environnement, communautés locales, satisfaction des touristes, marketing	Notation par seuil et critères obligatoires		

Suite à la prochaine page.

¹⁴ (République française, s.d.)

¹⁵ (Instituto Costarricense de Turismo, 2026)

¹⁶ (EarthCheck, s.d.)

¹⁷ (Descoperă Eco-România, s.d.)

Tableau A.1 Exemples d'écotourismes vérifiés par des tiers (recensement original des auteurs) (suite)

Écolabel touristique	Origine	Portée géographique	Gouvernance	Biens et services	Enjeux de durabilité	Exemples de critères	Méthode d'évaluation	ODD	GSTC
EcoCamping ¹⁸	Allemagne	Transnational	Privé	Campings	Environnement, Sécurité, Gouvernance	Gestion durable, communication, pollution, produits chimiques, déchets, énergie, conception, activités, mobilité, achats durables	Évaluation binaire (réussite / échec)		
Écolabel Tourisme Luxembourg ¹⁹	Luxembourg	Local	Public	Hébergements (incluant PME)	Environnement	Gestion environnementale, énergie, déchets, eau, achats durables	Système à niveaux et critères obligatoires et seuils	x	
Ecotourism Australia Certification ²⁰	Australie	Local	ONG	Multisectoriel (hébergements et services touristiques)	Environnement, Social, Économique, Gouvernance	Conservation, biodiversité, énergie, eau, déchets, emploi, cultures autochtones, patrimoine, qualité, communauté, éthique des affaires	Notation par seuil		
Ecotourism Kenya Eco-rating ²¹	Kenya	Local	ONG	Multisectoriel (hébergements, aires protégées, zones urbaines)	Environnement, Social, Économique, Gouvernance, Culture	Gestion environnementale, conservation, engagement communautaire, achats, employés, formation, culture, santé, sécurité, marketing équitable et qualité	Système à niveaux et critères obligatoires		

Suite à la prochaine page.

¹⁸ <https://ecocamping.de/>

¹⁹ (EcoLabel Luxembourg, s.d.)

²⁰ <https://ecotourism.org.au/>

²¹ (Ecotourism Kenya, 2016)

Tableau A.1 Exemples d'écolabels touristiques vérifiés par des tiers (recensement original des auteurs) (suite)

Écolabel touristique	Origine	Portée géographique	Gouvernance	Biens et services	Enjeux de durabilité	Exemples de critères	Méthode d'évaluation	ODD	GSTC
EU Ecolabel ²²	Union européenne	Transnational	Public	Multisectoriel (hébergements touristiques, services auxiliaires, etc.)	Environnement	Critères de gestion environnementale, énergie, eau, déchets	Notation avec critères obligatoires		
Fair Trade Tourism ²³	Afrique du Sud	Transnational	ONG	Multisectoriel (hébergements, agences, voyagistes)	Social, Économique, Environnement, Gouvernance, Culture	Aspects juridiques, sécurité, droits humains, environnement, accessibilité, déchets, personnel, droits de l'enfant, culture, alimentation, eau, éducation	Notation par seuil et système à niveaux		x
Good Travel Seal ^{24,25}	Pays-Bas	International	ONG	Multisectoriel (hébergements, restauration, attractions, voyagistes, destinations, PME) et les destinations	Environnement, Social, Économique, Culture, Gouvernance	Alimentation, produits, personnes, emploi, climat, déchets, pollution, eau, nature, culture, gestion	Notation par seuil et système à niveaux		

Suite à la prochaine page.

²² (European Commission, s.d.)

²³ (Fair Trade Tourism, s.d.)

²⁴ (Green Destinations Certification, s.d.)

²⁵ (Good Travel Institute, s.d.)

Tableau A.1 Exemples d'écotouristiques vérifiées par des tiers (recensement original des auteurs) (suite)

Écolabel touristique	Origine	Portée géographique	Gouvernance	Biens et services	Enjeux de durabilité	Exemples de critères	Méthode d'évaluation	ODD	GSTC
Green Globe ²⁶	États-Unis	International	Privé	Multisectoriel (hébergements, attractions, événements, croisières, transport, restauration, etc.)	Environnement, Social, Économique, Gouvernance, Sécurité	44 critères fondamentaux et 400 indicateurs de conformité	Notation par seuil		
Green Hospitality Ireland ²⁷	Irlande	Local	Privé	Multisectoriel (hébergements, restauration, attractions, destinations, PME)	Environnement, Social, Économique, Gouvernance	Gestion environnementale, achats locaux, biodiversité, communication, formation, compte rendu, énergie, eau, déchets	Système à niveaux et critères obligatoires	x	
Green Key ²⁸	Danemark	International	ONG	Établissements touristiques et hôteliers	Environnement, Social, Gouvernance	Gestion environnementale, énergie, eau, déchets, responsabilité sociale des entreprises, sensibilisation, visiteurs, administration, activités, espaces, alimentation, nettoyage	Réussite / échec binaire, critères obligatoires et progressifs	x	

Suite à la prochaine page.

²⁶ (Green Globe, s.d.)

²⁷ <https://greenhospitality.ie/>

²⁸ <https://www.greenkey.global/>

Tableau A.1 Exemples d'écolabels touristiques vérifiés par des tiers (recensement original des auteurs) (suite)

Écolabel touristique	Origine	Portée géographique	Gouvernance	Biens et services	Enjeux de durabilité	Exemples de critères	Méthode d'évaluation	ODD	GSTC
Green Leaf Thailand ²⁹	Thaïlande	Local	Public-Privé	Hébergements	Environnement	Énergie, eau, déchets, qualité de l'air, pollution, impacts environnementaux, implication communautaire, etc.	Score agrégé et système à niveaux		
Green Seal Lodging ³⁰	États-Unis	Local	ONG	Hébergements	Environnement, Social, Économique, Santé	Déchets, énergie, eau, pollution, produits chimiques, sols, achats responsables, amélioration continue	Notation par seuil et système à niveaux		
Green Sign Hotel ³¹	Allemagne	International	Privé	Multisectoriel (hébergements, restauration, bureaux, spa, économie circulaire)	Environnement, Social, Gouvernance, Qualité	Gestion environnementale, énergie, eau, déchets, mobilité, dimensions locales et sociales, qualité, culture, communication	Notation par seuil et système à niveaux		x
Green Tourism UK ³²	Royaume-Uni	Transnational	Privé	Multisectoriel (hébergements, événements, destinations, entreprises multisites)	Environnement, Social, Économique	Communication, sensibilisation, communauté, santé et bien-être, égalité, diversité et inclusion, expériences, destinations, voyages, alimentation et boissons, biodiversité, énergie, déchets, eau, carbone, produits chimiques	Score agrégé et système à niveaux		x

Suite à la prochaine page.

²⁹ (Green Leaf Foundation, s.d.)

³⁰ (Green Seal, 2017)

³¹ <https://www.greensign.de/en/>

³² (Green Tourism, s.d.)

Tableau A.1 Exemples d'écolabels touristiques vérifiés par des tiers (recensement original des auteurs) (suite)

Écolabel touristique	Origine	Portée géographique	Gouvernance	Biens et services	Enjeux de durabilité	Exemples de critères	Méthode d'évaluation	ODD	GSTC
Japan Eco Mark ³³	Japon	Local	ONG	Hébergements	Environnement	Pratiques environnementales, énergie, eau, déchets	Notation par seuil avec critères obligatoires et progressifs		
Nordic Swan ³⁴	Pays nordiques	Transnational	Public	Multisectoriel (hébergements, combinaisons d'activités, etc.)	Environnement	Gestion environnementale, énergie, eau, déchets, alimentation, biodiversité, produits chimiques, achats	Notation par seuil		
Programmes reconnus par le GSTC ³⁵	International	International	ONG	Hébergements, voyageurs, destinations, événements, attractions	Gouvernance, Environnement, Social, Économique, Culture	Gestion durable, impacts socio-économiques, cultures, et environnementaux (ressources, pollution, biodiversité)	Cadre de reconnaissance (méta-norme)		
Travelife Hotels ³⁶	Pays-Bas / Royaume-Uni	Transnational	Privé	Hébergements	Environnement, Social, Économique, Gouvernance	Chaîne d'approvisionnement, gestion et performance environnementales, bien-être animal	Évaluation binaire (réussite / échec)	x	

Suite à la prochaine page.

³³ (Japan Environment Association Eco Mark Office, 2019)

³⁴ (Nordic Swan Ecolabel, n.d.)

³⁵ (GSTC, 2024)

³⁶ (Travelife Accommodation Sustainability, s.d.)

Tableau A.1 Exemples d'écolabels touristiques vérifiés par des tiers (recensement original des auteurs) (suite et fin)

Écolabel touristique	Origine	Portée géographique	Gouvernance	Biens et services	Enjeux de durabilité	Exemples de critères	Méthode d'évaluation	ODD	GSTC
Viabono ³⁷	Allemagne	Local	Privé	Multisectoriel (hébergements, restauration, voyagistes, etc.)	Environnement	Une gamme de certifications est proposée, adaptée à l'hétérogénéité de l'industrie touristique : empreinte environnementale, énergie, environnement, compensation carbone, respect du climat, indicateurs climatiques	Indicateurs clés de performance (KPI)		

³⁷ (Viabono, s.d.)

ANNEXE B CONTRIBUTION ANALYSIS FOR AN OUTFITTER HOSPITALITY SERVICES ALTERNATIVES

These figures provide insight into the contribution analysis for an outfitter hospitality services alternatives, focusing on the impact and damage categories analysed in the study.

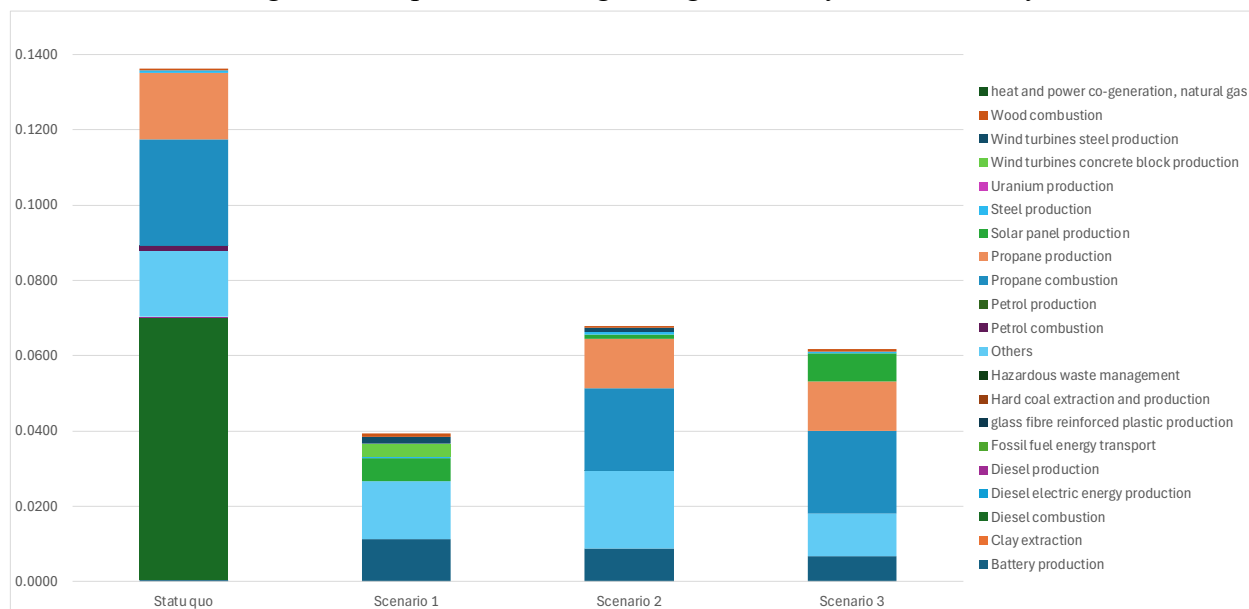


Figure B.1 Contribution analysis for an outfitter hospitality services alternatives on Human Health (annual DALY)

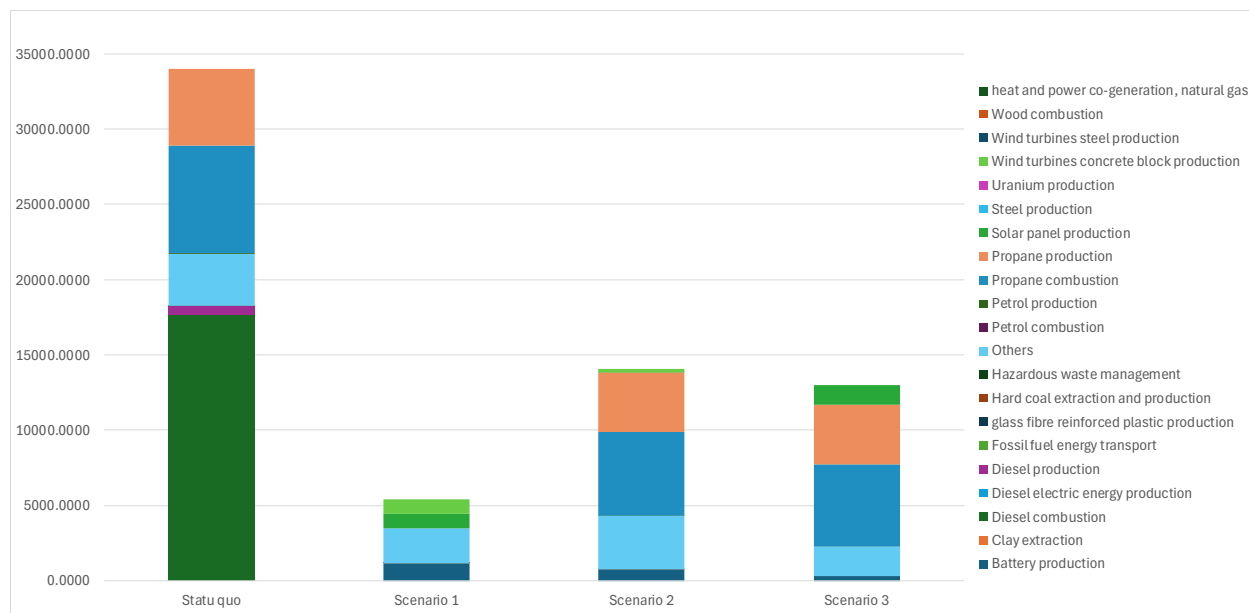


Figure B.2 Contribution analysis for an outfitter hospitality services alternatives on Ecosystem Quality (annual PDF.m2.yr)

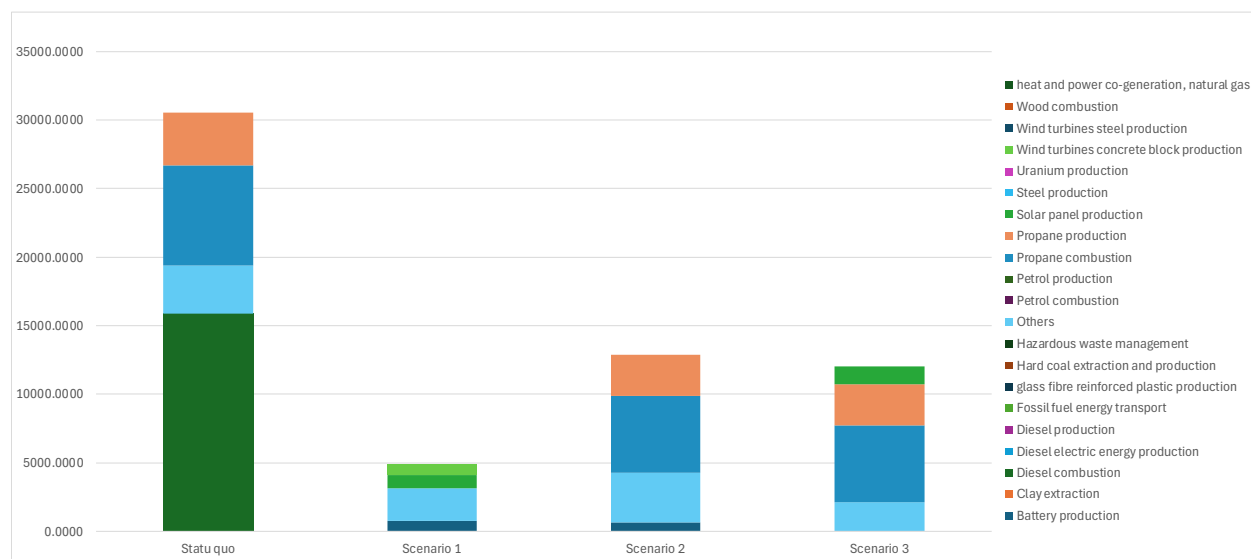


Figure B.3 Contribution analysis for an outfitter hospitality services alternatives on Climate change - short term (annual kg CO2 eq)

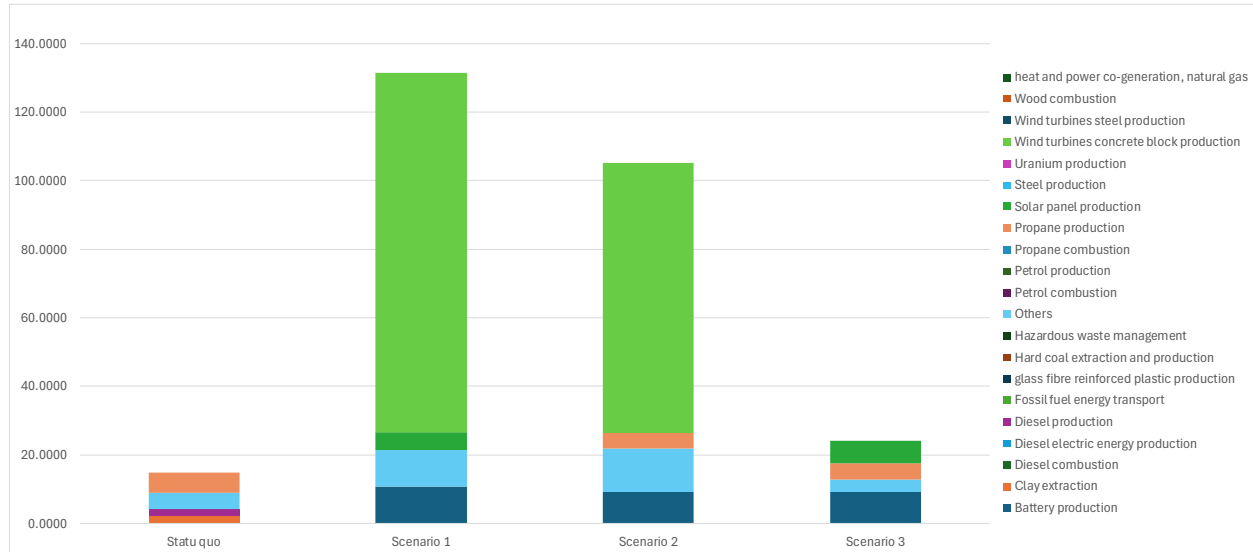


Figure B.4 Contribution analysis for an outfitter hospitality services alternatives on Mineral resources use (annual Kg deprived)

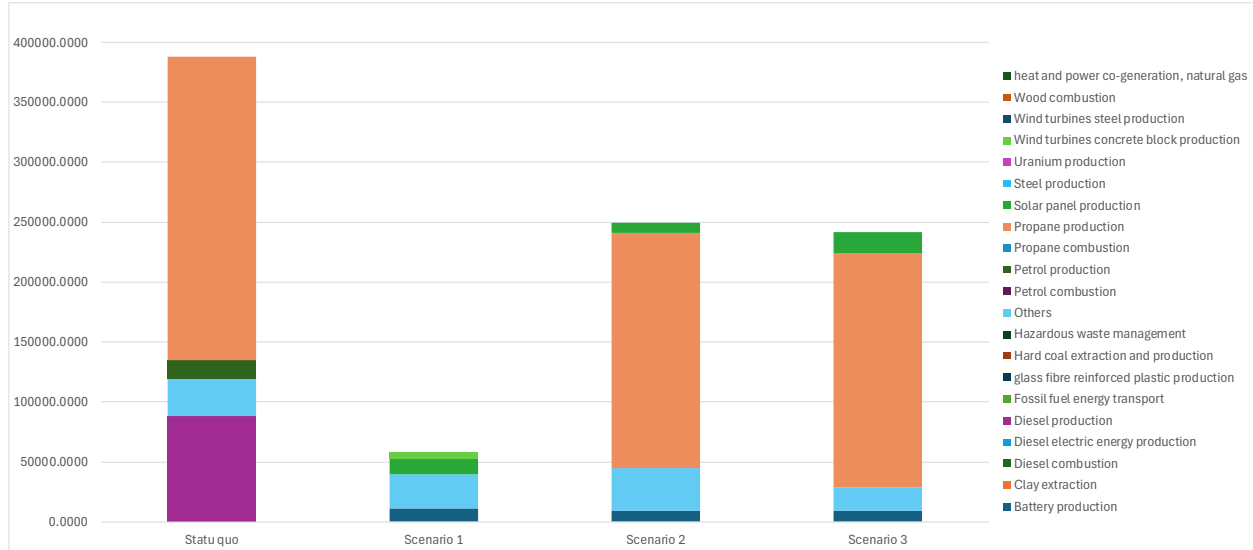


Figure B.5 Contribution analysis for an outfitter hospitality services alternatives on Fossil and nuclear energy use (annual MJ deprived)

ANNEXE C TRANSPORTATION TO SITE CONTRIBUTING TO TOURISM PACKAGE

Table C.1 Transportation to site contribution to tourism package (%)

Eco-efficient factors (I = VABRF)	Transportation to site contribution per package/year (%)														
	Modular strategies														
Parameters	1: Hospitality services energy technology. Swap hospitality 2: Volume. Remove hospitality services**										3: Transport technology. Swap transportation to site**				
	Group Standard	Group Innovation	Group Transition	Group Renewable	Group Rustic	Double Standard	Double Innovation	Double Transition	Double Renewable	Double Rustic	VIP group Standard	VIP Group Innovation	VIP group Transition	VIP group Renewable	VIP group Rustic
V	Volume (person)	4	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	4
A	Frequency (package per person)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	Duration (days)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Service composited modules															
P	Transport	Option 2 Deluxe	Option 2 Deluxe	Option 2 Deluxe	Option 2 Deluxe	Option 2 Basic	Option 2 Deluxe	Option 2 Deluxe	Option 2 Deluxe	Option 2 Basic	Option 1 Deluxe	Option 1 Deluxe	Option 1 Deluxe	Option 1 Deluxe	Option 1 Basic
P	Outfitter hospitality services	Standard	Innovation	Transition	Green	Cottage	Standard	Innovation	transition	Green	Cottage	Standard	Innovation	Transition	Cottage
R	Damages on AoP	★2	★2	★2	★2	★1	★2	★2	★2	★2	★1	★2	★2	★2	★1
	Human health	100000 DALY	93%	96%	97%	98%	99%	96%	98%	98%	99%	100%	84%	91%	92%
	Ecosystem quality*	1 PDF.m2.yr	66%	83%	84%	92%	96%	80%	90%	91%	96%	98%	72%	86%	87%
Impact midpoints															
	Climate change, short term	1 kg CO2 eq	67%	83%	84%	93%	95%	80%	91%	91%	96%	98%	83%	92%	93%
	Fossil and nuclear energy use	0.1 MJ deprived	74%	82%	82%	95%	96%	85%	90%	90%	97%	98%	85%	90%	90%
	Mineral resources use	1000 kg deprived	88%	51%	82%	46%	99%	94%	68%	90%	63%	99%	81%	38%	73%

Legend
 Tourism package results midpoint percentile at 50 for shading results from low (green) to high (red) impact per scenario group
 Impact indicators reflect IMPACTWorld+ midpoint level indicators
 Values influenced by changes in eco-efficient factors
 *Excludes freshwater ecotoxicity, long term from ecosystem quality damage category.
 **Module reuse, swap or addition included as modular strategies
 Dotted square: Eco-efficient factor applied to scenario

Continued on next page.

Table C.1 Transportation to site contribution to tourism package (%) (cont'd and end)

<i>Transportation to site contribution per package.year (%)</i>											
Eco-efficient factors (I = VABRF)	Parameters	4: Duration. Add hospitality services modules**					5: Frequency. Add tourist package **				
		Group Standard – long	Group Innovation – long	Group Transition – long	Group Renewable – long	Group Rustic – long	Double Standard x2	Double Innovation x2	Double Transition x2	Double Renewable x2	Double Rustic x2
V	Volume (person)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
A	Frequency (package per person)	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
B	Duration (days)	21	21	21	21	21	4	4	4	4	4
Service composited modules											
P	Transport	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2	Option 2
P	Outfitter hospitality services	Deluxe Standard	Deluxe Innovation	Deluxe transition	Deluxe Green	Basic Cottage	Deluxe Standard	Deluxe Innovation	Deluxe transition	Deluxe Green	Basic Cottage
		★2	★2	★2	★2	★1	★2	★2	★2	★2	★1
R	Damages on AoP	Units									
	Human health 100000 DALY	71%	83%	85%	90%	96%	93%	96%	97%	98%	99%
	Ecosystem quality* 1 PDF.m2.yr	27%	47%	49%	70%	83%	66%	83%	84%	92%	96%
	Impact midpoints										
	Climate change, short term 1 kg CO2 eq	28%	48%	50%	71%	79%	67%	83%	84%	93%	95%
	Fossil and nuclear energy use 0.1 MJ deprived	35%	46%	47%	78%	83%	74%	82%	82%	95%	96%
	Mineral resources use 1000 kg deprived	59%	17%	46%	14%	94%	88%	51%	82%	46%	99%