



0

Programme de recherche
INFRASTRUCTURES DE TRANSPORTS TERRITOIRES, PAYSAGES
ET ECOSYSTEMES
ITTECOP

APR 2020

Rapport final

Date remise : 30/06/2024



PÉPITE

**Préférences sociales pour des caractéristiques
Écologiques et Paysagères d'Infrastructures de
Transports à l'échelle de tErritoires**

Responsables scientifiques et coordinatrices du projet :

Anne-Charlotte VAISSIERE, CNRS, UMR ECOBIO Rennes, anne-charlotte.vaissiere@univ-rennes.fr

Coralie CALVET, AgroParisTech, UMR MRM, Univ. Montpellier, coralie.calvet@agroparistech.fr

Date d'engagement de la convention : 28/08/2021 – Démarrage du projet : 1/12/2021 - Durée du projet : 30 mois

Montant du budget : 86 574,07€ ; Cofinancements : subvention de la région Occitanie de 14 000€

Participants au projet : Coralie CALVET, Anne-Charlotte VAISSIERE, Stanislas RIGAL, Léa TARDIEU, Sébastien ROUSSEL

Pour citer ce rapport : Calvet, C., Vaissière, AC., Rigal, S., Tardieu, L., Roussel, S. (2024). Rapport final du Projet PÉPITE : Préférences des citoyens pour des caractéristiques Écologiques et Paysagères d'Infrastructures de Transports à l'échelle des tErritoires, Programme ITTECOP, APR2020, 137p.

Table des matières

Rappel des objectifs et du déroulement du projet	4
Contexte et posture de recherche	4
Résumé des objectifs et des objets d'étude du projet, et présentation de son déroulement	7
Organisation du document.....	9
1 Etude bibliographique, cadre conceptuel général & hypothèses de recherche	10
1.1 État de l'art.....	10
1.1.1 L'implication des citoyens et l'étude de la demande sociale.....	10
1.1.2 Les outils de l'évaluation économique de la demande sociale.....	12
1.1.3 Bilan et méthodes retenues pour PÉPITE : une combinaison des approches économiques « classiques » et délibératives	20
1.2 Présentation du cadre conceptuel de PÉPITE et de son évolution.....	21
1.2.1 Les nuisances ou impacts négatifs rattachés aux ILTe et les ambitions politiques pour les réduire	21
1.2.2 Les récents apports de l'écologie et de la géographie pour caractériser les fonctions secondaires	22
1.3 Problématique générale et hypothèses de recherche.....	26
2 Résultats scientifiques.....	28
2.1 Partie 1_ Sous-Section 1 Enquête nationale basée sur la méthode de l'expérience des choix pour évaluer l'hétérogénéité des préférences individuelles des citoyens	28
2.1.1 Contexte, objectif et problématique	28
2.1.2 Matériels et méthodes	32
2.1.3 Résultats	47
2.1.4 Discussions & Perspectives	57
2.2 Partie 1_ Sous-Section 2 : Repenser la valeur du temps & l'hétérogénéité des préférences selon les typologies des répondants (avec un modèle de classes latentes)	60
2.2.1 État de l'art et problématique posée.....	60
2.2.2 Matériels et méthodes.....	63
2.2.3 Résultats	69
2.2.4 Discussions et perspectives.....	75
2.3 Partie 2_ Étude de cas basée sur des ateliers délibératifs pour étudier la construction des préférences collectives des citoyens.....	80
2.3.1 Introduction.....	80
2.3.2 Etude de cas : le canal du Rhône à Sète et son contexte	83
2.3.3 Matériels et méthodes.....	85
2.3.4 Résultats et discussions.....	92
3 Conclusion et perspectives (scientifique et opérationnelle)	100
4 Valorisation des travaux	102
4.1 PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES.....	102
4.2 CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES	103
4.3 SEMINAIRES.....	103
4.4 FORMATIONS	103

4.5	ACTIONS DE TRANSFERT DE CONNAISSANCE A DESTINATION DES GESTIONNAIRES ET USAGERS 104	
5	<i>Liste des encadrés, des tables et des figures</i>	105
6	<i>Annexes</i>	106
6.1	ANNEXES de la PARTIE 1	106
6.2	ANNEXES de la PARTIE 2	111
7	<i>Bibliographie</i>	137
8	<i>Synthèse pour décideurs</i>	149
8.1	Synthèse du projet en français.....	149
8.2	PROJECT SUMMARY	154
9	<i>Résumé court</i>	157
10	<i>Abstract</i>	159

RAPPEL DES OBJECTIFS ET DU DEROULEMENT DU PROJET

Contexte et posture de recherche

Les questions d'acceptabilité sociale et de justice environnementale autour du développement des Infrastructures Linéaires de Transport (ILT)¹ occupent une place de plus en plus importante dans la sphère publique aussi bien à des échelles locales que nationales. L'importance des mobilisations citoyennes pour l'environnement qui s'organisent en contestation des projets d'infrastructure en témoigne (Reporterre, 2024). Une partie des citoyens souhaite que les ILT et leurs emprises (ILTe) limitent leurs impacts sur l'environnement et soient mieux intégrées dans les paysages. Cependant, ces évolutions peuvent remettre en question certaines caractéristiques, ou encore certains services « premiers » rendus par les ILT tels que l'accès aux infrastructures et à leurs abords, et le temps de trajet. Ainsi, une autre question se pose :

Quels compromis les citoyens sont-ils prêts à faire sur les services rendus par les ILT pour des raisons environnementales ?

C'est précisément ce à quoi le projet de recherche **PÉPITE** tente de répondre en étudiant les **Préférences des citoyens pour des caractéristiques Écologiques et Paysagères d'Infrastructures de Transports à l'échelle des tErritoires**.

L'étude des préférences sociales constitue un champ de recherche majeur en sciences économiques. Lorsqu'il est question de préférences pour des caractéristiques environnementales, l'économie de l'environnement propose depuis de nombreuses années différents cadres et méthodes pour les évaluer. Toutefois, si ces méthodes ont permis d'importantes contributions à la fois théoriques et empiriques pour étudier les préférences des individus, elles omettent souvent la formation de celles-ci en mobilisant des approches d'évaluation plutôt individuelles. L'économie écologique, qui représente un autre champ de l'économie qui étudie les interactions entre les humains et la nature², propose d'autres approches des préférences qui mettent davantage au

¹ Dans la suite du document, en accord avec la nomenclature proposée dans le programme ITTECOP, nous ferons référence à l'ensemble des infrastructures linéaires de transport ainsi qu'à leurs interfaces par l'acronyme ILT, et ILTe lorsqu'il s'agira également de leurs emprises. Les ILT regroupent les infrastructures qui transportent aussi bien des personnes, que des marchandises ou de l'énergie.

² L'économie de l'environnement et l'économie écologique se distinguent à différents titres. Principalement, elles ne partagent pas les mêmes fondements épistémologiques, les mêmes approches méthodologiques et elles n'adoptent pas les mêmes façons de considérer la place des systèmes humains et économiques par rapport au système naturel. L'économie écologique (EE) adopte une approche davantage intégrée en considérant l'humain comme faisant partie

centre les questions de formation et de co-construction de celles-ci. Dans ce projet, nous combinons les outils méthodologiques de l'économie de l'environnement avec l'approche conceptuelle de l'économie écologique afin d'aborder de façon plus complète et intégrée la question de la demande sociale paysagère et écologique dans le cadre de l'aménagement des ILT.

Ainsi, à la croisée entre des réflexions en *économie de l'environnement* pour l'évaluation des préférences individuelles, en *économie écologique* pour l'étude de la formation des préférences, et en *écologie des paysages* et *sciences de l'information spatiale* pour l'étude des possibles intégrations paysagères et écologiques des ILTe, nous avons développé une recherche interdisciplinaire avec une visée intégrative des problématiques complexes de conservation de la biodiversité et de demande sociale. Pour ce faire, notre projet réunit une équipe de sept chercheurs ancrés dans ces différentes disciplines, et appartenant à cinq laboratoires de recherche reconnus dans ces domaines : Écologie, Systématique et Évolution (ESE) ; Territoire, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (TETIS) ; Centre d'Économie de l'Environnement de Montpellier (CEE-M) ; Écosystèmes, Biodiversité et Évolution (ECOBIO), et Montpellier Research in Management (MRM).

Avec la volonté de mener une « recherche-action », le projet de recherche PÉPITE n'a pas uniquement favorisé l'interaction entre les chercheurs de différentes disciplines, mais aussi entre chercheurs et acteurs du territoire. Ce projet s'inscrit également dans une démarche d'échanges et de co-construction avec des partenaires opérationnels afin de répondre au mieux aux besoins identifiés et aux problématiques rencontrées concrètement dans les territoires. Dans cette perspective, deux collectivités territoriales intervenant à différents niveaux et un gestionnaire d'infrastructures portuaires, ont été impliqués dans ce projet : la Région Occitanie, l'Établissement Public Régional Port Sud de France et Voies Navigables de France. Ce partenariat nous a notamment permis d'avoir accès à des études de cas concrets pour la seconde partie d'évaluation délibérative menée dans le projet. Les échanges réguliers avec ces acteurs du territoire nous ont permis de construire une recherche au plus près des enjeux du cas d'étude étudié. Une telle démarche facilite également l'appropriation et la diffusion des résultats auprès des acteurs décisionnaires à l'échelle des territoires.

du système naturel et étant en perpétuelle interaction avec celui-ci. L'EE vise des approches inter- et transdisciplinaires, le recours à un pluralisme méthodologique, et la reconnaissance de valeurs intrinsèques accordées à la nature. Pour davantage de détails voir Bauler, T., Petit, O., & Froger, G. (2022). *Économie écologique : une perspective européenne*. De Boeck Supérieur; Spash, C. L. (2024). *Foundations of social ecological economics: The fight for revolutionary change in economic thought*. Manchester University Press.

Dans ce projet, nous avons étudié deux types d'infrastructures à des échelles territoriales complémentaires : les projets d'extension de lignes de tramway à l'échelle nationale, et le canal du Rhône à Sète situé au sein de la Région Occitanie.

Résumé des objectifs et des objets d'étude du projet, et présentation de son déroulement

Le déclin de la biodiversité et l'identification de ses nombreuses causes et conséquences sont scientifiquement documentés depuis plusieurs décennies (IPBES, 2019) et sont devenus un enjeu politique et sociétal majeur. L'aménagement du territoire, à travers le développement des infrastructures et de l'urbanisation, conduit à la perte et à la fragmentation des habitats naturels et constitue donc l'un des principaux facteurs de déclin de la biodiversité (Maxwell et al., 2016). En raison de leur empreinte spatiale considérable (Fosse et al., 2019), les infrastructures linéaires de transport et leurs emprises (ci-après, les ILTe) ont des impacts négatifs majeurs sur la biodiversité et les paysages qui nécessitent d'être pris en compte de façon urgente. L'aménagement du territoire doit donc répondre à la fois aux défis liés à l'érosion de la biodiversité et au changement climatique, ainsi qu'à la demande sociale de développement. Cependant, l'intégration écologique des infrastructures a longtemps été négligée dans les projets de développement des ILT qui étaient principalement axés sur les questions climatiques. En effet, face à l'urgence de l'atténuation du changement climatique, qui appelle notamment à une transformation en profondeur des modes de transport, les ILT sont appelées à jouer un rôle central. Les activités de transport représentent une part importante des émissions de gaz à effet de serre (GES) (1/3 en France) et n'ont montré aucun signe de diminution au cours des dernières décennies, ce qui souligne la nécessité de passer du transport individuel et thermique aux transports publics à faible émission de carbone.

Notre projet conduit à comprendre dans quelles mesures les citoyens sont prêts à réaliser des compromis sur les caractéristiques des ILT (e.g. accès, confort, rapidité, prix) afin de limiter les impacts de celles-ci sur la biodiversité et sur les paysages (en évitant des zones à forts enjeux écologiques par exemple). Un des objectifs finaux du projet vise à favoriser la réflexion collective pour de nouvelles façons de concevoir un aménagement du territoire qui soit plus durable et respectueux des enjeux écologiques.

Le projet PÉPITE porte à la fois des objectifs académiques en apportant de nouvelles connaissances sur la demande sociale écologique, méthodologiques en mobilisant des méthodes innovantes et originales pour évaluer cette demande, et opérationnels en appuyant les acteurs et décideurs en matière d'aménagement des territoires. Il se divise en deux parties qui portent sur l'identification des préférences des citoyens pour l'intégration écologique et paysagère d'ILT.

- L'objectif de la première partie du projet vise à mieux comprendre et mesurer les arbitrages que les citoyens sont prêts à faire entre différents niveaux de prise en compte des enjeux écologiques et des variations de temps de transport dans leurs déplacements quotidiens. Nous avons choisi le tramway comme ILT pour notre première analyse, car les projets de tramway sont amenés à se développer à l'échelle nationale. En effet, il s'agit d'un transport collectif à énergie non carbonée qui constitue de ce fait un enjeu particulièrement important en France dans le cadre de la Loi d'orientation des mobilités (LOM) de 2019. Ils s'inscrivent bien dans l'objectif de neutralité carbone en 2050 (- 37,5 % d'émissions de CO₂ d'ici 2030) et d'interdiction de la vente de voitures utilisant des énergies fossiles carbonées d'ici 2040. Cependant, au-delà des enjeux climatiques, la prise en compte des impacts du développement des tramways sur la biodiversité n'est pas encore suffisante. Nos recherches et contacts avec les acteurs clés des infrastructures de transport de passagers nous ont conduit à retenir les « projets d'extensions des lignes de tramways » des grandes villes françaises vers des zones péri-urbaines porteuses d'enjeux écologiques comme cas d'étude pour l'enquête nationale.
- La seconde partie du projet porte sur l'étude de la construction des préférences collectives des citoyens dans le cadre d'aménagement du territoire en lien avec les ILT. Avec le concours financier de la Direction de la Mer de la Région Occitanie et l'accompagnement de Voies Navigable de France (VNF, principal gestionnaire du canal du Rhône à Sète), nous avons choisi d'étudier le cas du Canal du Rhône à Sète dont le devenir et les usages font actuellement l'objet de débats. En effet, le canal est principalement utilisé pour le fret fluvial ainsi que pour le tourisme fluvial et terrestre (voies vertes sur ses berges). Ces activités engendrent une dégradation accélérée des berges et de leur biodiversité et un envasement que VNF n'arrive pas à gérer à ce jour. Par ailleurs, avec la montée des eaux, les activités de fret, voire l'existence même du canal, sont mises en péril au-delà de 2050. Maintenir ces activités impliquerait des travaux conséquents de reconstruction des berges et de dragage avec des impacts notables sur la biodiversité et des coûts élevés probablement difficilement amortissables d'ici 2050. VNF et la Région sont donc pris entre des injonctions contradictoires de maintien du fret dans une logique de diminution de l'empreinte carbone des transports (le fret fluvial émet jusqu'à 5 fois moins de CO₂ que le routier pour 1 tonne transportée³) et de préservation des paysages et de la biodiversité.

³ <https://www.vnf.fr/vnf/agissez-maintenant-passez-au-fluvial/>

Si la première partie du projet vise à identifier les préférences individuelles grâce à la méthode économique d'expérience des choix (diffusée via une enquête en ligne), la deuxième partie mesure l'apport de la délibération collective dans la formation des préférences grâce au jeu de territoire qui consiste en un jeu de plateau.

Le projet s'est déroulé sur une durée de 30 mois. Les 4 premiers mois ont été dédiés à la réalisation d'une étude bibliographique à la fois sur le sujet traité et sur les méthodes à mobiliser. Les deux parties du projet ont été successivement réalisées sur une durée de 12 mois chacune. Les 2 mois restants ont été consacrés à la finalisation de la valorisation des travaux via la rédaction de publications scientifiques (5). La participation à des conférences internationales (4) et nationales (2) a été réalisée tout au long du projet.

Organisation du document

La suite du présent document se structure autour de trois grandes parties. Dans la première partie, nous présentons d'une part, l'étude bibliographique que nous avons menée sur le sujet et sur les méthodes visées dans le projet, et d'autre part, le cadre conceptuel général que nous avons développé dans cette recherche ainsi que la problématique et les principales hypothèses de travail testées⁴. La seconde partie est consacrée aux résultats de ce projet. Elle se divise en deux principales sections qui sont respectivement dédiées à la présentation des résultats des deux grands axes de recherche développés dans ce projet : l'enquête nationale qui repose sur la mobilisation de la méthode d'expérience des choix, et l'étude de cas basée sur les approches délibératives. Ces deux parties seront structurées de la même manière : une présentation de l'état de l'art, des méthodes et des résultats, puis une discussion de ces derniers. Enfin, dans la troisième partie de ce document, nous discutons plus largement des contributions et des limites de notre recherche à la fois sur le plan académique et opérationnel.

⁴ La rédaction de cette partie s'appuie sur le contenu des rapports intermédiaires remis au fur et à mesure au comité de suivi scientifique du projet.

1 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE, CADRE CONCEPTUEL GENERAL & HYPOTHESES DE RECHERCHE

1.1 État de l'art

1.1.1 L'implication des citoyens et l'étude de la demande sociale

En dépit de réels changements dans la prise en compte des enjeux environnementaux dans les projets de développement, les oppositions et les conflits locaux restent encore très prégnants sur les territoires. La demande sociale pour l'intégration environnementale des ILT est très peu étudiée et considérée, alors qu'elle pourrait être un des leviers majeurs en matière de développement territorial. En dépassant la simple implication des habitants dans le cadre d'obligations réglementaires lors de l'instruction des projets, comprendre les perceptions et attentes des usagers des territoires permettrait de limiter les problèmes d'acceptabilité et d'insertion territoriale des projets, et ainsi de se prémunir d'un manque d'adhésion sociale qui pourrait en compromettre l'issue (MTES, 2020).

La tendance récente dans les politiques, notamment « de proximité », est d'aller vers une meilleure implication et participation des citoyens dans les processus de décision en matière de développement territorial. Cependant, les dispositifs institutionnels actuels mis en place pour permettre la participation des citoyens dans le cadre de projets d'aménagement montrent des limites. Les principaux dispositifs réglementaires sont :

- le débat public, qui intervient en amont des gros projets d'aménagement via la sollicitation de la Commission Nationale sur le Débat Public (CNDP), qui doit permettre à chacun d'être informé et de prendre la parole sur le projet lorsqu'il est encore en phase d'étude ;

- la consultation publique, qui est mobilisée dans le cadre de procédures spécifiques prévues par le code de l'environnement (demandes d'autorisation d'exploiter une ICPE ou projet nécessitant la réalisation d'une étude d'impact mais non soumis juridiquement à enquête publique ou encore, demandes de permis d'aménager nécessitant la réalisation d'une étude d'impact après un examen au cas par cas), se fait via la mobilisation du CNDP et du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable (CGEDD) ;

- l'enquête publique, qui est réalisée après examen du dossier par les instructeurs et organes consultatifs (type CNPN, CSRPN) implique un commissaire-enquêteur de la Compagnie des Commissaires Enquêteurs afin de recueillir les avis, favorables ou défavorables, des individus qui consentent à y participer. Cette dernière a subi récemment d'importantes modifications

réglementaires dont celle depuis le 25 avril 2017 avec le décret n°2017-626, qui porte sur la mise en application de l'enquête publique dématérialisée.

Ces différents dispositifs institutionnels interviennent à différents stades de la procédure d'évaluation des projets et impliquent différents niveaux d'organisation et types d'acteurs. Cette disparité rend ces dispositifs confus et peu opérationnels pour les citoyens dans la pratique. Rares sont les citoyens (hors associations de défense de l'environnement) qui les connaissent et s'en saisissent pour faire valoir leurs avis et préférences. Ces dispositifs reposent souvent sur l'intervention d'experts qui jouent le rôle d'intermédiaires entre les citoyens et le décideur politique. La participation, lorsqu'elle a lieu, se résume à une consultation unilatérale alors que l'objectif qui devrait être visé est une co-construction résultant de relations « plurilatérales ». On assiste aujourd'hui à une défiance de plus en plus forte des citoyens à l'égard des institutions et de leurs représentants. Une récente enquête menée par Sofres révèle que plus de 90% des personnes interrogées sont favorables au développement de moyens d'information et d'expression directes des citoyens dans la préparation de la décision publique, et sans l'intervention d'experts mandatés par l'État (MEDDE, 2015).

Dans ce contexte, de nouveaux types d'initiatives émergent dans les territoires et tendent à se développer de plus en plus avec pour objectif d'impliquer tous les citoyens et de faire entendre leurs voix dans l'élaboration des projets futurs relatifs au devenir de leurs territoires. Nous pouvons citer par exemple à l'échelle régionale, la plateforme participative Occitanie, à l'échelle communale, les Conseils Citoyens Indépendants mis en place à Grenoble, ou encore, le Dialogue Citoyen de Quartier de Nantes (AATRE, 2019). Ces initiatives reposent sur des volontés et des convictions locales qui poussent à aller vers plus de concertation et de participation des citoyens, et elles sont animées par différents types d'acteurs (élus, associations, laboratoires de fabrique urbaine, citoyens...). Toutefois, elles apparaissent encore très disparates et manquent souvent de cadres méthodologiques solides. Dans ce contexte, certains travaux de recherche soulignent la nécessité de faire travailler en étroite collaboration les acteurs du développement territorial, les porteurs de projet, les citoyens et les scientifiques, afin de créer des cadres méthodologiques pouvant accompagner ces initiatives territoriales (Mermet, 2015). Cela permet en effet de développer des connaissances, des outils et/ou des pratiques qui sont nécessaires à l'intégration des enjeux pluriels et à l'identification des préférences multiples des citoyens dans le développement des territoires (Guerry et al. 2015).

Les questions de légitimité sont au cœur de ces problématiques. Selon le philosophe allemand Jürgen Habermas « seule la délibération est susceptible d’entraîner un effet de légitimation » (Leyrit, 2015). Les conditions d’élaboration des décisions sont encore plus importantes que les décisions elles-mêmes. Les échanges et la mise en place de conditions pour faire émerger des débats entre les citoyens sont nécessaires pour retrouver la confiance et l’adhésion sociale. Ils doivent permettre de pouvoir penser plusieurs options possibles avant que les choix soient déjà arrêtés, et donc avoir lieu suffisamment en amont des décisions. Ce sont ces éléments qui font l’objet des principaux reproches attribués aux procédures réglementaires actuelles de participation citoyenne.

Si la pratique tend à limiter une réelle participation citoyenne qui questionnent la légitimité des décisions et des procédures d’acceptation des projets d’aménagement, nous développons dans la section suivante comment les sciences économiques traitent ces questions d’évaluation de la demande sociale et de participation citoyenne.

1.1.2 Les outils de l’évaluation économique de la demande sociale

- Les approches en sciences économiques pour étudier le lien entre la valeur et la demande sociale pour des services environnementaux

L’évaluation des préférences individuelles repose sur plusieurs hypothèses en lien avec le comportement des individus. Par exemple, l’économie souligne l’hypothèse de choix rationnels qui suppose que les individus peuvent évaluer les changements dans la fourniture de services environnementaux malgré leur absence de valeurs marchandes (Hanley et al. 1997). Deux grands types de méthodes ont été développées en économie de l’environnement pour évaluer ces consentements avec des approches différentes. Les méthodes basées sur les préférences déclarées sont basées sur l’observation des comportements individuels pour des services environnementaux à partir de marchés existants qui leurs sont liés (Bockstael et McConnell, 2007). Il s’agit principalement de mesurer la valeur d’un lieu donné, une zone protégée par exemple, par le coût de transport que les individus consentent à payer pour s’y rendre (coûts de déplacement) ou alors par le surplus que les individus sont prêts à payer pour un logement à proximité (prix hédoniques). Ces méthodes font l’objet de nombreuses critiques dans la littérature : elles peuvent être biaisées en raison des imperfections du marché et ne permettent pas d’estimer les valeurs de non-usage, pourtant centrales dans le domaine de l’évaluation environnementale (Pascual et al., 2010).

Les approches des préférences déclarées sont basées sur l'observation des comportements individuels pour des services environnementaux à partir de marchés hypothétiques afin de pouvoir en évaluer la valeur de non-usage. Il s'agit de demander directement aux individus leur consentement à payer (CAP) pour obtenir (ou éviter) un changement positif (ou négatif) de bien-être, ou leur consentement à recevoir (CAR) pour supporter un changement négatif de bien-être correspondant à un scénario donné (évaluation contingente). Ou alors, de mettre en place un scénario décrit par plusieurs attributs comportant chacun différents niveaux et, par les choix successifs des individus pour des combinaisons différentes d'attributs, de calculer leur CAP ou CAR (expérience des choix ou choice experiment). Si l'évaluation contingente continue d'être utilisée dans l'évaluation environnementale, surtout aux Etats-Unis, ses nombreuses limites méthodologiques et conceptuelles favorisent l'utilisation de la méthode de l'expérience des choix dans le champ de la conservation de la biodiversité (Bateman et al., 2002 ; Holmes et Adamowicz, 2003).

- La méthode d'expérience des choix : une approche largement répandue pour révéler les préférences des individus et analyser la demande sociale environnementale

L'expérience des choix, ou choice experiment (CE), est largement utilisée pour modéliser les choix des individus de façon multidimensionnelle et pour en identifier les préférences (Louviere et al., 2000). Cette méthode consiste à recueillir les préférences des individus en leur présentant plusieurs alternatives ou ensembles de choix, appelées « scénarios », dont chacun est caractérisé par une combinaison d'attributs avec des niveaux qui varient. Les individus sont invités à choisir les options qu'ils préfèrent, ce qui permet alors d'évaluer les compromis qu'ils sont prêts à faire pour profiter de ou renoncer à différents types d'attributs. L'objectif principal d'un CE est d'estimer le poids et le signe de chaque coefficient de niveau d'attribut à partir des choix répétés effectués (Cuervo et al., 2016). Ces poids peuvent ensuite être utilisés pour calculer des ratios décrivant les compromis que les répondants sont prêts à faire parmi les attributs disponibles (Louviere et al., 2000). Ces méthodes sont adaptées aussi bien à l'évaluation des valeurs d'usage passif, actif ou dans le futur en considérant des changements futurs ou hypothétiques par le biais d'enquêtes. L'intérêt et l'originalité de ces méthodes se trouvent aussi dans leur possibilité de considérer à la fois les valeurs d'usage et de non-usage, ce qui leur confère leur succès en économie de l'environnement (Christie et al., 2012). Aujourd'hui, le CE semble la meilleure option pour évaluer les préférences sociales pour des caractéristiques environnementales (Noël, 2005). En effet, cette méthode permet d'évaluer les préférences des individus en faisant varier des scénarios selon différentes caractéristiques environnementales, ou attributs. Le CE permet ainsi d'observer les arbitrages que les individus effectuent en situation de choix et d'analyser les

compromis qu'ils sont prêts à faire pour renoncer à un bien ou à un service pour le bénéfice d'un autre. Dès lors qu'un des attributs est monétaire, il est possible d'inférer à partir des réponses le CAP pour le bien et ses divers attributs. Ainsi, le CE confronte les individus à des choix plus proches des situations qu'ils connaissent, ce qui en fait la méthode a priori la plus performante (Chevassus-au-Louis et al., 2009).

- Les fondements théoriques et postulats de départ

Ces méthodes trouvent leurs fondements dans les théories de Lancaster (1966) et de McFadden (1974). D'après la théorie du choix rationnel, il est supposé que les individus choisissent une alternative qui maximise l'utilité, non pas dérivée de la quantité consommée du bien, mais sur la base des attributs qui le caractérisent et décrivent les choix disponibles. Selon la théorie de la valeur des caractéristiques de Lancaster (Lancaster, 1966), un bien ou un service peut être défini par un ensemble de caractéristiques, ce qui signifie que la valeur d'un bien est la somme des valeurs de toutes ses caractéristiques. Hormis les attributs et leurs niveaux, aucun autre facteur ne devrait influencer systématiquement les choix des gens. En combinant cela avec la théorie de l'utilité aléatoire de McFadden (McFadden, 1973), comme le fait le cadre de modélisation de l'expérience de choix discrets, les individus font des choix en fonction d'une partie déterministe, qui est visible pour le modélisateur, mais il y aura toujours un élément stochastique dans les choix des gens. Il faut donc tenir compte d'un élément non observable dans les choix des gens : le modélisateur ne peut pas savoir ce qui se passe dans l'esprit des gens, et le terme d'erreur du modèle de McFadden le saisit. Dans l'expérience de choix discrets, les répondants sont invités à choisir entre deux alternatives et une option de refus, une situation qualifiée de statu quo. L'inclusion du statu quo est utile pour obtenir des résultats plus réalistes. Cela permet d'éviter que les personnes soient contraintes de faire des choix qu'elles ne souhaitent pas faire.

- État de l'art sur l'utilisation de ces approches dans les domaines de l'évaluation environnementale et des ILT

Ces approches ont été notamment utilisées dans le cadre de l'évaluation des préférences pour des caractéristiques environnementales en lien avec les compensations écologiques (Roussel et al., 2019 ; Le Coent et al., 2017), les mesures agro-environnementales (Khufuss et al., 2014), ou encore dans le cadre de projets éoliens (Kermagoret et al., 2016; Westerberg et al., 2012). Si l'intérêt de l'utilisation de ces méthodes a alors été bien démontré dans le cadre de l'évaluation des préférences pour des caractéristiques environnementales de biens, encore peu d'études ont testé leurs applications dans le cadre des ILT.

Suite à leur succès et à l'utilisation croissante des méthodes de CE dans le domaine de l'économie de l'environnement, ces dernières, et plus généralement les méthodes d'évaluation économique, ont récemment été l'objet de nombreuses critiques dans la sphère académique, notamment pour leurs limites d'ordre méthodologique (Bunse et al., 2015). L'effort cognitif qu'elles demandent aux personnes enquêtées qui doivent se projeter dans des combinaisons d'attributs et dans des choix de scénarios questionnent la réelle véracité des résultats (Hoyos, 2010). La forme et la durée de l'enquête, le niveau de connaissances et d'information des enquêtés, et leur capacité à émettre des préférences stables, semblent être les principaux éléments en cause dans les faiblesses rattachées à ces méthodes (Hanley et Shogren, 2005 ; Hoehn et Randall, 2002 ; Whitehead et Blomquist, 1991 ; Whittington et al., 1992).

Ces débats ont alors mené à l'émergence d'un nouveau corpus de littérature scientifique dans le domaine de l'évaluation environnementale qui propose de combiner les méthodes d'expérience des choix (CE) à d'autres approches dites délibératives (Spash, 2008). Cette combinaison est censée utiliser les points forts des deux méthodes et combler les faiblesses des méthodes de CE (Macmillan et al., 2002 ; Ward, 1999), ce que nous proposons alors de mobiliser dans la deuxième partie de ce projet.

- Les évaluations délibératives : une ouverture vers des démarches participatives pour impliquer les individus dans la prise de décision collective.

Les approches délibératives se basent sur les théories de la démocratie délibérative qui plaident pour une plus grande participation du public à la prise de décision puisqu'elles considèrent "la délibération publique de citoyens libres et égaux [comme] le cœur de la prise de décision politique légitime et de l'autonomie gouvernementale" (Bohman, 1998, p.401). Jacobs (1997) a affirmé qu'en raison de la nature publique des biens environnementaux, une institution d'articulation des valeurs appropriée doit inclure un élément de discussion ouverte avant que des jugements ne soient rendus. En général, on s'attend à ce que les approches délibératives non seulement augmentent la légitimité des décisions mais aussi incitent les participants à s'impliquer davantage sur le long terme dans les problématiques sociétales (Ward et al., 2003).

Les approches formelles et informelles de la délibération participative se sont développées de diverses manières sous la forme de focus groups, ou de jurys de citoyens ou encore de « conférences de concertation » (Niemeyer et Spash, 2001). Les approches délibératives visent à instaurer la démocratie dans la prise de décision, à supprimer la hiérarchie (l'économie

délibérative implique un discours critique fondé sur un ensemble de principes et de normes pour faciliter la rencontre et le dialogue critiques sur un pied d'égalité), et à mieux accepter la pluralité des valeurs et des croyances des individus (Lo et Spash, 2013). Ces composantes des approches délibératives semblent essentielles pour révéler des préférences qui font l'objet de consensus social et qui répondent à des processus d'évaluation équitable, indispensables en matière d'évaluation de la demande sociale (Bunse et al., 2015).

En réponse aux nombreuses critiques concernant l'utilisation des méthodes de préférences déclarées, comme l'expérience des choix, pour l'évaluation des biens environnementaux, la combinaison de ces méthodes avec les approches délibératives a été proposée comme une solution (par exemple, Brown et al., 1995). Spash (2007, p.691) a qualifié les approches de ce type d'évaluation monétaire délibérative (DMV pour « Deliberative monetary valuation ») qu'il définit comme "l'utilisation explicite de la délibération dans le cas d'impact environnemental pour exprimer la valeur en termes monétaires à des fins politiques". Dès les premières discussions sur la délibération et l'évaluation économique, dans les années 90, cette combinaison de méthodes a attiré l'attention de toute une série de chercheurs venant de différentes disciplines. Parmi ceux-ci, on comptait non seulement ceux de l'économie (Brown et al., 1995 ; Spash, 2001), mais aussi ceux de la science de la décision (Gregory et al., 1993), de la politique, de la géographie humaine (Clark et al., 2000) et de la philosophie appliquée (Sagoff, 1998 ; O'Neill, 2001). En conséquence, les différentes perspectives sur l'utilisation de la DMV ont conduit à une pratique et à une conceptualisation très diversifiées de ces approches. Dans ce document, nous centrons notre analyse sur l'utilisation de la DMV dans le champ des sciences économiques afin de répondre à notre volonté de révéler les préférences des individus pour des caractéristiques écologiques et paysagères d'ILT.

- Le couplage des méthodes d'expérience des choix et de l'évaluation délibérative : Deliberative Choice Experiment (DCE), état de l'art dans les sciences économiques

L'état de l'art sur le sujet se divise entre des recherches théoriques et empiriques dans la justification donnée pour avoir recours à l'intégration des méthodes délibératives à l'évaluation monétaire (Bunse et al., 2015). La justification donnée dans les travaux empiriques peut généralement être considérée comme une réponse aux critiques de l'économie de l'environnement. Elles s'écartent principalement des hypothèses néoclassiques standards en considérant que la plupart des gens n'ont pas de préférences bien formées pour la plupart des services environnementaux et que les méthodes conventionnelles de préférences déclarées ne facilitent pas la construction de préférences bien informées et rationnelles (Álvarez-Farizo et

Hanley, 2006). Les trois principaux avantages de l'inclusion d'un volet délibératif dans les méthodes de CE sont les suivants : (1) il permet d'adapter l'information aux besoins des participants, (2) il donne aux participants plus de temps pour réfléchir et la possibilité de poser des questions et ainsi d'améliorer leur information sur les choix à réaliser (Ward, 1999), et (3) la délibération avec les membres du groupe améliore la compréhension du problème en question (Macmillan et al., 2002). C'est pourquoi la combinaison des deux approches présentées ci-dessus est généralement considérée comme la plus utile pour évaluer des scénarios avec des composantes environnementales complexes ou peu familières des participants, et ainsi pour révéler leurs préférences pour des changements dans les types et niveaux de services étudiés. Il est également considéré que le fait d'aider les participants dans la tâche cognitive qui leur est demandée pour réaliser leurs choix permet de réduire les réactions de protestation (Szabó, 2011) et de produire des estimations plus valables du CAP (MacMillan et al., 2006 ; Lienhoop et MacMillan, 2007a). D'un point de vue plus théorique, comme le souligne Jacobs (1997, p.212), "ce qui est fait à [l'environnement] peut être discuté en termes, non seulement de coûts et de bénéfices (qu'ils soient privés ou publics), mais aussi de bien et de mal". L'institution appropriée pour articuler les valeurs n'est donc pas l'agrégation de valeurs individuelles, mais un forum public dans lequel les participants discutent de ce qui est le mieux pour la société dans son ensemble (Sagoff, 1998 ; Ward, 1999). Il est également mis en avant qu'un tel processus d'évaluation est mieux adapté pour examiner les droits des générations futures et pour aborder les questions de distribution équitable. Wilson et Howarth (2002, p.434) soulignent à ce sujet que "lorsque l'on choisit entre les biens et les services des écosystèmes, on ne peut échapper à la nécessité d'aborder la question de l'équité sociale".

Les études théoriques traitent généralement de la DMV dans le contexte des services écosystémiques et des biens environnementaux en général et ne font pas référence à des services écosystémiques spécifiques pour lesquels ils proposent l'utilisation de la DCE (Bunse et al., 2015). Dans les travaux empiriques, la DMV est appliquée à une série de services écosystémiques spécifiques. Les études qui utilisent la DMV ont tendance à se concentrer sur les services écosystémiques liés à la biodiversité ou à la protection des habitats, bien que certaines études, comme celle de Lienhoop et MacMillan (2007) évaluent également d'autres services liés au concept de nature sauvage, ou comme celle de Balderas Torres et al. (2012) évaluent le service de séquestration de carbone des forêts. La plupart des autres études ont tendance à utiliser la DMV pour évaluer les changements dans plusieurs services écosystémiques, par exemple en réponse à un projet de restauration d'une rivière (Álvarez-Farizo & Hanley, 2006 ; Álvarez-Farizo et al., 2007).

Dans la plupart des études empiriques, les participants sont divisés en plusieurs petits groupes qui se réunissent soit en une seule fois, soit en plusieurs sessions de groupe. Si plusieurs sessions sont utilisées, elles peuvent être consécutives ou réparties sur plusieurs jours. Dans les groupes, les participants discutent d'une question environnementale spécifique et, après chacune des sessions, le CAP des participants est déterminé à l'aide d'une enquête de CE (par exemple, Álvarez-Farizo et Hanley, 2006). Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour mener la session de groupe, mais la littérature souligne les avantages de la proposition de Dietz et al. (2009). Dans leurs travaux, ils utilisent spécifiquement la "technique du groupe nominal" pour réduire les problèmes qui surviennent souvent dans les discussions en petits groupes. Dans cette technique, chaque participant écrit les facteurs qui sont importants pour lui dans la prise de décision et ceux-ci sont ensuite discutés ensemble dans le groupe. Cette approche accorde la même attention aux considérations de tous les participants et garantit le partage des informations. Au-delà du format général décrit ci-dessus, les travaux empiriques varient considérablement dans la conception de l'expérimentation. Certaines études se basent sur des approches de type market stall, d'autres sur des entretiens par focus group avec plus ou moins de participants et de répétition des réunions. Par exemple, dans le market stall, il se trouve différentes réunions d'une durée définie (souvent une heure) répétées à intervalles réguliers (souvent une semaine). Dans certaines études, les réunions peuvent être remplacées par des appels téléphoniques (Lienhoop et Fischer, 2009 ; Lienhoop et MacMillan, 2007 ; Macmillan et al., 2002 ; 2006 ; Philip et MacMillan, 2005 ; Wätzold et al., 2008). Ces techniques diffèrent des focus groups plus conventionnels dans le sens où les participants disposent de plus de temps (souvent une demi-journée) pour examiner leurs préférences et en discuter avec d'autres membres du groupe. Dans les approches par focus group, les participants ne se réunissent souvent pas plus d'une fois (Bunse et al., 2015). Les focus groups permettent d'étudier les représentations sociétales, non pas à l'échelle de l'individu comme c'est le cas dans les enquêtes par sondage individuel, mais à l'échelle du groupe (Kaplowitz et Hoehn, 2001). Les résultats de ce type de démarches reflètent l'interaction entre les attitudes des participants et le processus social qui se met en place au sein du groupe. Les focus groups peuvent donc aussi être le théâtre de comportements stratégiques d'acteurs et ainsi permettre de révéler des positionnements et préoccupations de groupes d'acteurs. Les résultats peuvent alors être utilisés pour mieux cerner les effets d'un aménagement sur l'environnement et leur acceptabilité par les acteurs.

Les travaux théoriques varient dans leurs recommandations sur la manière dont la DCE devrait être menée. Ils sont généralement d'accord sur le fait que les délibérations sont mieux menées en petits groupes animés, et que des règles de procédure doivent être mises en place pour garantir une discussion équitable et ouverte. Concernant l'échantillon, c'est-à-dire le choix des participants, les processus de délibération en général ne dépendent pas de la représentativité

statistique, mais il n'y a pas d'accord sur la manière dont les participants doivent être choisis. La manière dont les décisions doivent être prises dans les groupes de délibération est également contestée. Wilson et Howarth (2002, p.436) considèrent que l'objectif des méthodes basées sur le discours est de "parvenir à un accord sur ce qui devrait être évalué par ou au nom de la société dans son ensemble", ils proposent que l'évaluation des groupes de délibération s'efforce d'être consensuelle. D'autres, cependant, considèrent que, dans la pratique, cet accord peut également être obtenu par le vote (Brown et al., 1995 ; Jacobs, 1997 ; Sagoff, 1998) et Ward (1999) avertit que mettre l'accent sur le consensus en tant que résultat pourrait même être contre-productif car l'absence de consensus peut-être une information très utile. Spash (2008) souligne que l'objectif général du processus de DCE est d'obtenir un consensus de groupe sur la valeur sociale globale d'un changement environnemental, mais qu'en l'absence de consensus, le vote à la majorité est considéré comme acceptable (Brown, Peterson et Tonn 1995 ; Ward 1999 ; Wilson et Howarth 2002 ; Howarth et Wilson 2006). Blamey et al. (2000), Brown et al. (1995) et Ward (1999) envisagent même un processus étroitement inspiré du modèle du jury de citoyens (c'est-à-dire des jurys de valeurs), qui dure de quelques heures à quelques jours et comprend l'interrogation des témoins. La taille de l'échantillon est également une variable importante. Selon Turner et al. (2010), on peut envisager plusieurs inconvénients des méthodes basées sur les groupes, parmi lesquels la tendance des petits groupes à ne pas mettre en commun efficacement les connaissances individuelles de leurs membres sous certaines conditions est particulièrement problématique. Pourtant, un partage inefficace de l'information compromettrait clairement l'un des principaux objectifs des études délibératives, qui est d'informer les gens sur les biens et services environnementaux complexes avant de les inciter à faire des choix (par exemple, Aanesen et al., 2015).

Selon un cadre conceptuel proposé par Spash (2007, 2008), les valeurs de CAP produites par la DCE peuvent être divisées en différentes catégories selon qui spécifie la valeur (individu ou groupe dans son ensemble) et en quels termes la valeur est spécifiée (montant payé par un individu ou par la société dans son ensemble). Ce cadre a été jugé utile dans la littérature sur le sujet pour discuter de la nature des valeurs de CAP produites par les approches DCE (Bunse et al., 2015).

1.1.3 Bilan et méthodes retenues pour PÉPITE : une combinaison des approches économiques « classiques » et délibératives

Les développements méthodologiques proposés dans le projet PÉPITE visent à pallier les manques méthodologiques et les faiblesses dans les dispositifs réglementaires actuels pour prendre en compte la demande sociale environnementale, tout en ayant une ambition d'étude à l'échelle nationale. Si les approches délibératives sont innovantes et constituent une avancée sur le plan méthodologique dans le champ de l'évaluation des préférences, elles impliquent la mise en place d'ateliers participatifs qu'il serait difficilement envisageable de mettre en œuvre à une échelle nationale pour un gros échantillon dans le cadre d'un projet tel que le nôtre. C'est donc une expérience de choix « classique » que nous menons dans un premier temps pour l'enquête nationale. En effet, les différentes méthodes d'évaluation économique « classiques » présentées dans la section précédente revêtent un certain nombre de limites mais aussi d'avantages pour mener à bien notre recherche. Elles permettent de révéler à la fois de manière qualitative et quantitative, au travers des différents attributs évalués, le poids des facteurs environnementaux dans les préférences et l'acceptabilité sociale des projets d'ILT. Ces méthodes sont particulièrement utilisées pour révéler les déterminants des choix des individus présentés sous la forme d'arbitrage pour différents scénarios. Nous sommes bien dans cette situation d'arbitrage entre les caractéristiques de l'ILT et les caractéristiques environnementales du territoire support de l'ILT (en favorisant les aménités et limitant les nuisances environnementales). Cependant, dans le cadre de ce projet, il paraît plus pertinent de remplacer l'attribut monétaire classiquement utilisé dans ce type d'expérience par un attribut de « temps » (cf. Encadré 1).

Encadré 1 : L'attribut de compromis : du temps ou de l'argent ?

L'attribut de compromis habituellement utilisé par les économistes dans les expériences de choix est monétaire afin de pouvoir calculer des consentements à payer (CAP) ou à recevoir (CAR) des répondants pour une variation donnée de chacun des attributs. C'est ce qui constitue la base de l'évaluation environnementale lorsque les attributs ont trait à des caractéristiques écologiques. Nous proposons dans cette étude d'utiliser un attribut non monétaire plus pertinent à notre sens dans le cadre des choix liés aux ILT : le temps supplémentaire passé dans les transports en raison d'un tracé mieux intégré écologiquement et au sein du paysage. Premièrement, étant donné l'objet de notre étude, les infrastructures de transport utilisées dans le cadre de déplacements des individus, il nous semble plus pertinent d'utiliser le temps, qui occupe une place centrale dans les choix des déplacements, comme variable d'arbitrage. D'autre part, s'affranchir de la dimension monétaire nous permet de limiter l'hétérogénéité des préférences qui serait due à des capacités financières hétérogènes. En effet, les utilisateurs des trams peuvent avoir accès à des tarifs préférentiels selon leur revenu ou selon un statut qui ouvre des droits à des tarifs réduits (étudiant, chômeur, retraité) et certaines villes font le choix de la gratuité des transports. Cela évite également d'entrer dans les débats autour de l'évaluation monétaire du vivant. Le temps, même s'il peut aussi être vécu différemment selon la quantité dont en dispose le répondant, reste une grandeur facile à comprendre

et toujours impliquée dans un trajet en tramway. Ainsi, nous ne posons pas la question du consentement à payer ou à renoncer à de l'argent pour des raisons écologiques, mais le consentent à passer plus de temps dans les transports.

Nous défendons alors ce choix qui s'ancre dans la démarche interdisciplinaire qui caractérise nos travaux et celui de quelques autres auteurs. Nous nous féliciterons de publier ces travaux dans les revues prêtes à dépasser ces blocages théoriques dans les branches les plus conservatrices des sciences économiques. Enfin, si besoin, une passerelle existe pour transformer le temps auquel les répondants sont prêts à renoncer en indicateur monétaire. En effet, les travaux sur la valeur tutélaire du temps, prise en compte dans le cadre de l'évaluation socio-économique des projets de transport, permettent de donner une valeur monétaire au temps (Boiteux, 1994, 2001 ; Quinet, 2013). [Boiteux M. (1994), Transports : pour un meilleur choix des investissements, Commissariat général du Plan ; Boiteux M. (2001), Transports : choix des investissements et coût des nuisances, Commissariat général du Plan, Paris, La Documentation française. et Quinet (2013), Le rapport "L'évaluation socioéconomique des investissements publics" - septembre 2013, Rapport du Commissariat général à la stratégie et à la prospective].

Ainsi, il nous apparaît pertinent de combiner des méthodes d'évaluation économique d'expérience des choix qui visent à identifier les préférences des individus mais sans attribut monétaire, avec des approches délibératives qui permettent de mieux comprendre les processus de formation des préférences. La méthode délibérative sera mise en œuvre sur un cas d'étude local afin de développer l'étude des préférences via des processus de concertation citoyenne et de mise en débat sur les devenirs possibles d'un territoire.

Il est important de préciser que nous n'avons pas pour objectif dans ce projet de concevoir un outil technique ou une plateforme de participation citoyenne mais bien de développer un cadre méthodologique permettant de mieux appréhender la demande sociale en utilisant des démarches innovantes tels que les ateliers délibératifs. Nous nous positionnons donc en amont des procédures de décisions relatives à des projets concrets, en étant plutôt à l'échelle territoriale au niveau des plans et programmes d'aménagement en lien avec les Infrastructures Linéaires de Transport (ILT).

1.2 Présentation du cadre conceptuel de PÉPITE et de son évolution

1.2.1 Les nuisances ou impacts négatifs rattachés aux ILTe et les ambitions politiques pour les réduire

Une relation communément envisagée entre les ILTe et l'environnement sont les conséquences négatives de la construction et du fonctionnement des ILTe, aussi appelées *nuisances* ou *externalités négatives*, comme le bruit, les pollutions atmosphériques, visuelles et sonores, l'artificialisation des sols ou encore la perte de biodiversité. La littérature scientifique a bien

identifié le développement des ILTe comme une des principales causes d'érosion de la biodiversité dans les pays développés en raison des pertes d'habitats et de la fragmentation de ces derniers qu'elles occasionnent (Laurance et al., 2014 ; Maxwell et al., 2016 ; Villemey et al. 2018). L'attente des citoyens est particulièrement forte au sujet de la pollution atmosphérique, ce qui génère d'importants mouvements contestataires dans le cas de développements d'ILT⁵, notamment en bordure des infrastructures portuaires⁶.

Certaines évolutions réglementaires et institutionnelles tentent de diminuer ces externalités négatives au travers d'ambitions, traduites par des objectifs gouvernementaux comme celui de « zéro perte nette de biodiversité » introduit par la loi pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, de « zéro artificialisation nette » proposé par le plan biodiversité, ou encore de « neutralité carbone des transports terrestres en 2050 » porté par la loi d'orientation des mobilités, la stratégie nationale « bas-carbone » et « l'OMI 2020 », nouvelle réglementation qui limite les émissions d'oxydes de soufre dans les ports. Ces ambitions gouvernementales semblent traduire une volonté politique de répondre à une demande sociale de mieux prendre en compte les enjeux en termes de santé et d'environnement dans le développement des ILTe⁷.

1.2.2 Les récents apports de l'écologie et de la géographie pour caractériser les fonctions secondaires

Une relation beaucoup moins souvent envisagée est celle des fonctions environnementales que peuvent rendre les ILT et leurs emprises.

La déclaration de l'IENE (Infra Eco Network Europe) de 2016⁸ souligne l'importance de la prise en compte de ces *emprises* qui comprennent notamment les bords de route, les bassins de rétention et les passages à faune. Ces « Habitats related to Transport Infrastructures (HTI) » sont souvent habitées par de nombreuses espèces de faune et de flore et peuvent jouer un rôle dans la conservation de la biodiversité si elles sont gérées dans cette perspective. Les HTI peuvent également jouer un rôle essentiel dans la lutte contre le changement climatique si elles sont

⁵ D'après l'enquête publique réalisée en 2017 sous la forme d'un questionnaire en ligne ayant recueilli plus de 13000 réponses de la part des citoyens, et suite aux ateliers du débat public conduits en 2018 pour alimenter la Stratégie Nationale Bas Carbone (MTES, 2020).

⁶ <https://www.asef-asso.fr/actualite/le-debrief-de-lasef-du-16-novembre-2017>

⁷ Par exemple, en p15 de la synthèse de la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), il est mentionné que la SNBC vise à : « s'assurer de l'acceptabilité par les citoyens des mesures de politique publique dédiées à la transition bas-carbone, en s'appuyant sur des études sociologiques, et la participation du public dans l'élaboration des plans d'actions ainsi que des études d'impacts socio- économiques » (<https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>).

⁸ <http://iene2016.iene.info/wp-content/uploads/IENE-2016-Declaration.pdf>

envisagées comme des zones de lutte contre l'érosion, le ruissellement ou les inondations par exemple. Ces réflexions trouvent des échos au sein de la communauté scientifique qui s'intéresse à ces sujets, notamment dans le cadre du programme ITTECOP avec le projet de recherche COHNECS-IT⁹. La revue systématique menée dans le cadre du projet COHNECS-IT révèle que les ILTe peuvent jouer le rôle de potentiels habitats ou de corridors écologiques pour la biodiversité, en particulier via leurs dépendances qui représentent des emprises spatiales très importantes à l'échelle nationale (Villemeay et al., 2018). Ces travaux mettent notamment en évidence la nécessité d'aborder les ILT de façon longitudinale en considérant les flux de dispersion de la biodiversité selon des axes longitudinaux et non uniquement transversaux. Ces travaux permettent d'alimenter les réflexions sur la mise en place des réseaux de Trame Verte et Bleue, développés en France depuis 2007 suite aux initiatives gouvernementales, et sur les préconisations en termes de mesures de restauration et de gestion des dépendances vertes des ILTe et des ILT elles-mêmes. Ces recherches soulignent l'importance et la nécessité d'adopter une approche spatialisée afin de contextualiser les effets potentiellement bénéfiques des ILTe en fonction des paysages environnants et des enjeux de biodiversité locaux.

L'acceptabilité des ILT repose sur au moins trois dimensions (Fig. 1a) : (1) sur les caractéristiques liées à la fonction même de transport de marchandises, de personnes ou d'énergie des ILT, notamment leur efficacité, que nous qualifions de **fonctions primaires**, (2) sur les conséquences négatives (nuisances) ou (3) positives (aménités) du projet. Les conséquences positives des ILT sont souvent appréhendées par le biais de retombées économiques, pourtant les ILTe, notamment par leur intégration écologique au sein des paysages, peuvent aussi avoir des conséquences positives environnementales et sociales se traduisant par la fourniture de services environnementaux (Encadré ci-dessous) que nous qualifierons dans le projet PÉPITE de **fonctions secondaires** des ILTe. Il se trouve alors des enjeux en termes d'efficacité des ILT, de réduction des impacts négatifs, et de revalorisation des ILTe via de possibles bénéfices, notamment environnementaux. C'est dans cette perspective que se positionne le projet PÉPITE en intégrant cette dimension plurielle des ILTe (efficacité, nuisances et bénéfices) dans l'analyse des préférences sociales dont nous précisons dans la suite de cette section les enjeux relatifs. Au cours du projet, nous avons consolidé et fait évoluer notre compréhension des différentes composantes de l'acceptabilité des ILTe, notamment en prenant en compte les conséquences négatives indirectes potentiellement générées simultanément aux aménités (externalités positives) environnementales, comme le cas des collisions entre la grande faune et les usagers des transports par exemple.

⁹ <http://cohnecsit.mnhn.fr>

(a) Cadre conceptuel initial

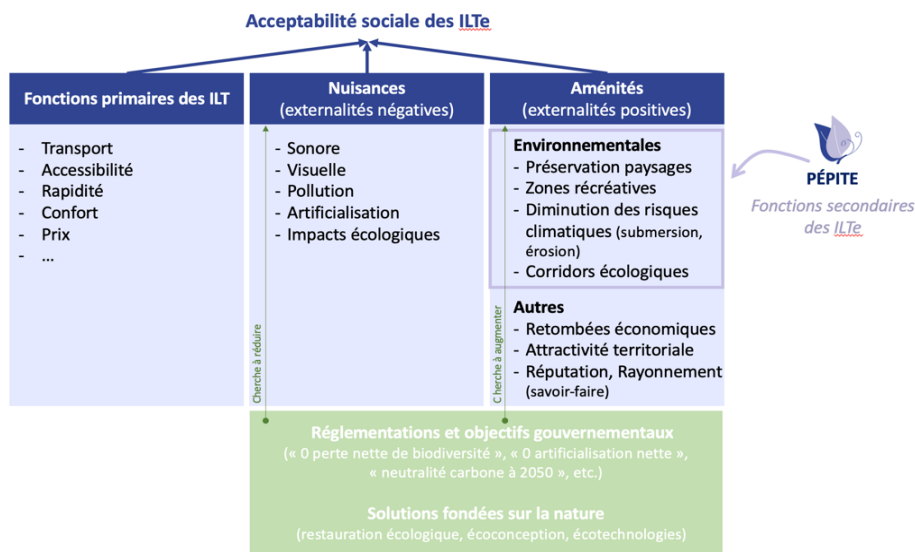


Figure 1a : cadre conceptuel initial du projet PÉPITE

Le contexte général nous amène à penser ces fonctions primaires en adoptant une vision intégrée et mutualisée des ILTe. En effet, en dépit de la révolution numérique en marche depuis ces dernières années qui donne à penser une forme de « dématérialisation » des échanges et des relations commerciales entre producteurs et consommateurs, l’impact spatial (et environnemental) rattaché à l’emprise géographique des infrastructures logistiques et de transports reste néanmoins toujours aussi important. La circulation des marchandises et des personnes nécessite la structuration de réseaux logistiques et de transports situés entre terre et mer notamment via les réseaux routiers, ferroviaires et fluviaux, et leurs interfaces avec les ports. Afin de limiter les emprises spatiales des entrepôts, hangars et autres aménagements rattachés au fonctionnement logistique de ces infrastructures, il est aujourd’hui plus que jamais nécessaire de repenser les usages via des mutualisations possibles des différentes ILTe afin d’en optimiser l’efficacité aussi bien sur le plan économique, environnemental que spatial. Le projet de recherche PLATEFORME du programme ITTECOP s’est intéressé à ces questions au travers de l’étude des plateformes multimodales. Il s’agit alors d’appréhender les différentes ILTe non pas comme une somme des unes et des autres mais comme un ensemble doté de nouvelles caractéristiques en termes d’efficacité, mais aussi d’intégration environnementale et paysagère. A l’instar des travaux écologiques qui soulignent les bénéfices écologiques souvent plus importants lorsqu’il est question de grands espaces mutualisés, la mutualisation des ILT semble être l’occasion de bénéfices plus importants en termes d’efficacité et environnementaux en limitant les emprises spatiales.

Encadré 2. Définition et articulation entre *services environnementaux* et *services écosystémiques*

Nous retenons la définition de services environnementaux proposée par le comité pour l'économie verte (avis du 29 octobre 2015) et utilisée dans le cadre de l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE) pilotée par le ministère en charge de l'environnement : « les services environnementaux sont des services que des acteurs se rendent entre eux ou rendent à la société dans son ensemble (il est question le plus souvent d'échanges de services entre fournisseurs et bénéficiaires), et qui visent à réduire la pression exercée sur les écosystèmes ou qui améliorent leur fonctionnement » (CGDD 2017). Ces services environnementaux conditionnent ainsi les flux et la distribution dans l'espace et dans le temps des services écosystémiques, bénéfiques que les humains retirent des écosystèmes (MEA 2005, p.67).

D'un point de vue théorique, notre cadre initial mettait en avant l'idée de compromis entre des fonctions primaires des ILT (e.g. accessibilité, rapidité, prix) et leurs fonctions secondaires comprenant notamment des aménités environnementales et la prise en compte des enjeux écologiques tels que la préservation des paysages, le maintien de corridors écologiques ou encore l'intérêt récréatif des zones d'abord des voies de communication (Fig. 2).



Figure 2 : Identification du compromis entre les services d'usage primaires de l'ILT et la fourniture des bénéfices écologiques

Le choix de notre cas d'étude, les extensions de tramways en zones périurbaines porteuses d'enjeux écologiques, nous a amené à faire évoluer notre cadre conceptuel. Le cadre d'étude révisé (Fig. 1b) consiste davantage en un compromis entre des caractéristiques de l'ILT (même définition que les fonctions primaires de l'ILT) et des caractéristiques environnementales du territoire support de l'ILT. En effet, ce n'est plus l'infrastructure qui est porteuse d'un potentiel de réintégration d'enjeux écologiques en milieu artificialisé (via des opérations de renaturation le long des voies par exemple), c'est le territoire en voie d'artificialisation qui porte des enjeux écologiques à préserver. Notre démarche se situe à l'étape d'« évitement » de la séquence Éviter-Réduire-Compenser puisqu'il s'agit de préserver les caractéristiques environnementales du territoire support de l'infrastructure.

(b) Cadre conceptuel révisé (modifications en rouge)

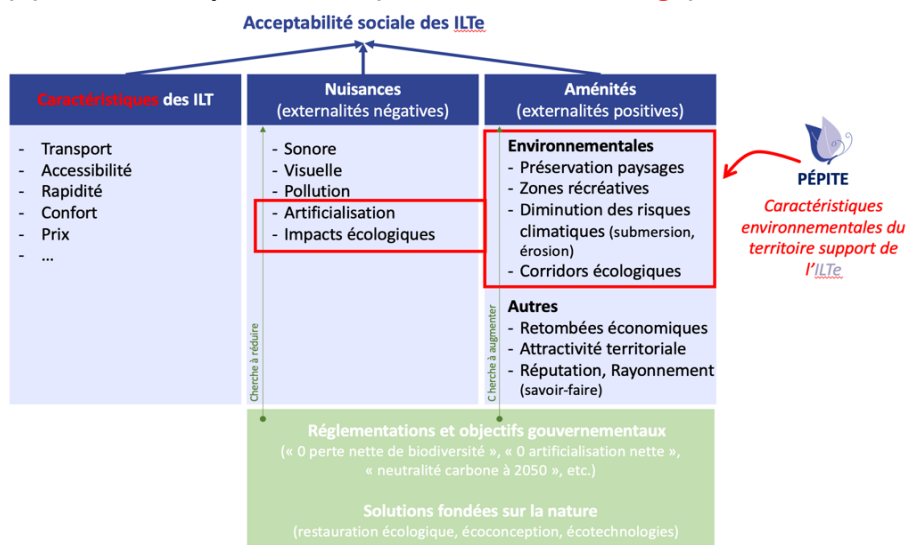


Figure 1b : évolution du cadre conceptuel du projet PÉPITE

1.3 Problématique générale et hypothèses de recherche

En appui aux politiques publiques et aux acteurs du territoire, le projet de recherche **PÉPITE** vise à éclairer les décideurs publics et les porteurs de projets et gestionnaires d'ILTe, qu'ils soient publics ou privés, sur les attentes sociales et les préférences des citoyens en lien avec les nouveaux usages et rôles des ILTe. Cette information, qu'aucune autre étude n'a produit pour le moment, leur permettra d'adapter les projets afin d'améliorer l'acceptabilité des ILT à l'échelle des territoires à condition que les préférences sociales n'aillent pas à l'encontre des objectifs environnementaux. Sinon, c'est un effort de pédagogie et de communication sur l'importance de limiter l'érosion de la biodiversité, l'artificialisation des sols, les risques liés au climat et les pollutions atmosphériques que les décideurs doivent réaliser auprès des citoyens. Le projet **PÉPITE**, sera le premier à s'intéresser aux Préférences sociales pour des caractéristiques Écologiques et Paysagères d'Infrastructures de Transports à l'échelle des tErritoires.

Quelle est la demande sociale associée à l'intégration environnementale et paysagère des infrastructures linéaires de transport à l'échelle des territoires ?

Sur la base de l'état de l'art présenté synthétiquement ci-dessus, nous formulons trois principales hypothèses (H) associées à notre problématique générale :

H1 a. L'évolution de la demande sociale pour la prise en compte des enjeux environnementaux conduit les individus à avoir des préférences pour une intégration écologique des ILTe (réduction des nuisances et fonctions secondaires), quitte à faire des compromis sur l'efficacité des ILT (fonctions primaires) ;

H1 b. Les préférences des individus seront hétérogènes selon :

- (1) les types et niveaux de services environnementaux rendus. La littérature qui s'intéresse au lien entre la demande sociale et la production de services environnementaux nous amène à penser que les préférences des individus iront davantage vers des services dont ils peuvent retirer des bénéfices directs (valeurs d'usage) (Castro et al., 2014) ;
- (2) les caractéristiques socio-économiques qui jouent classiquement dans l'étude des préférences des individus (tels que l'âge, le genre, le niveau d'études, la catégorie socio-professionnelles, etc.) ;
- (3) la distance des individus à l'ILTe. Les individus les plus proches des ILTe ont probablement des attentes plus fortes en termes d'intégration écologique et paysagère, notamment pour diminuer les pollutions directes liées à sa présence, visuelle et atmosphérique, par exemple via la mobilisation de solutions fondées sur la nature. La littérature nomme cet effet le « distance decay » (Bateman et al., 2002 ; Schaafsma et Brouwer, 2020) ;
- (4) le degré de naturalité de la zone d'habitation des individus et leur expérience avec la nature (Guetté et al. 2020).

H2. L'apport et le partage d'information entre acteurs via les outils de l'information spatiale et les démarches délibératives permettront une meilleure connaissance et appréhension des enjeux environnementaux sur leur territoire, ce qui aura alors un effet positif sur la demande sociale pour l'intégration plus écologique des ILTe (Billaud et al. 2020 ; Campagne et Roche, 2018 ; Bunse et al., 2015).

2 RESULTATS SCIENTIFIQUES

Cette section est dédiée à la présentation des résultats scientifiques du projet. Elle se divise en deux principales parties qui correspondent aux deux grands axes de recherche du projet PÉPITE. Chaque axe de recherche est présenté avec une problématique, une méthode, et un objet d'étude qui lui est spécifique. Les résultats de la partie 1 sont présentés en deux sous-sections car nous avons mobilisé deux méthodes d'analyse différentes des résultats issus de l'enquête nationale.

2.1 Partie 1_ Sous-Section 1 : Enquête nationale basée sur la méthode de l'expérience des choix pour évaluer l'hétérogénéité des préférences individuelles des citoyens

2.1.1 Contexte, objectif et problématique

L'objectif de la première partie du projet est de comprendre et de mesurer les arbitrages que les citoyens sont prêts à faire entre différents niveaux de prise en compte des enjeux écologiques et paysagers des ILTe et des variations de temps de transport dans leurs déplacements quotidiens. Pour cette partie de l'étude dédiée à l'enquête nationale via l'utilisation de la méthode de l'expérience de choix discrets, expliquée plus bas, nous présentons deux grands types de résultats qui répondent à ces principales questions : **Quelles caractéristiques écologiques et paysagères d'intégration des ILT les individus préfèrent-ils ? Qui a le temps de se préoccuper de la biodiversité ?** ou en d'autres termes, **quelle est la valeur du temps selon les typologies de répondants ?**

Nous avons choisi le tramway comme infrastructure linéaire de transport pour notre première analyse, car les projets de développement de tramway sont amenés à se développer à l'échelle nationale. Ils concernent en effet un transport collectif à énergie non carbonée et constituent de ce fait un enjeu particulièrement important en France dans le cadre de la Loi d'orientation des mobilités (LOM) de 2019. En effet, la LOM représente un des exemples les plus récents de la volonté du législateur d'agir sur les modes de mobilité des personnes dans leurs déplacements quotidiens. L'un des principaux éléments justifiant la LOM est le constat d'une inadéquation entre la politique des transports passée et les besoins et attentes des citoyens d'aujourd'hui. Aujourd'hui, de nombreux citoyens n'ont pas d'alternative à l'utilisation individuelle de leur voiture pour leurs déplacements quotidiens puisque 21% des actifs français utilisent leur voiture

exclusivement pour le trajet domicile-travail (alors que le trajet moyen est inférieur à 9 kilomètres) (SDES, 2019). L'importance des ILT rejoint également l'enjeu de la lutte contre les inégalités territoriales, puisque près d'un quart des actifs déclarent avoir déjà renoncé à un travail ou à une formation faute de moyens pour se déplacer. L'un des principaux piliers de la LOM est donc d'augmenter l'offre de transports en commun, notamment vers les zones périurbaines.

Dans ce contexte, parmi les ILT actuellement privilégiées dans les politiques de changement de mode de transport, le tramway prend une place de plus en plus importante en France (Gardon et Mazoyer, 2014). Ce mode de transport cumule de nombreux avantages en termes d'émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) (véhicule électrique, émettant au moins 11,6 fois moins de GES par passage/km que la voiture (Sertsöz, 2023)), de qualité de l'air (pas de pneus et moins de congestion sur les routes (Pradono et al., 2015)) et d'urbanisme (régénération en profondeur laissant la place aux transports doux (González et al., 2013)). Son image moderne a également contribué à son renouveau depuis les années 1980 (Guillon, 2013 ; Larroque, 1989). Comme toute infrastructure, la construction de nouvelles ILT contribue à l'urbanisation et à la fragmentation des habitats naturels et a un impact direct sur les paysages (Bruschi et al., 2015). En revanche, en prenant en compte les enjeux écologiques et paysagers, les ILT existantes peuvent faire de la place à la biodiversité et contribuer à l'amélioration de la qualité de vie des riverains. Par exemple, l'installation de pelouses sous les voies de tramway (Jakubcová et Horváthová, 2020) permet de végétaliser les villes, en laissant la place à une biodiversité florale typique et à un ensemble d'espèces proches, sans entretien important (Sikorski et al., 2018). Plus généralement, les abords des ILT peuvent être des zones de corridors de biodiversité potentiels (Clevenot et al., 2017 ; Villemey et al., 2018). Ainsi, de nombreux projets de création et d'extension de lignes de tramway sont prévus à l'échelle nationale (principalement en France métropolitaine).

Si le développement des modes de transports collectifs vise à contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, parmi de nombreux autres enjeux sociaux et économiques (comme objet de contestation ou comme moyen de faciliter le transport et le travail), ses effets sur la biodiversité et le paysage (comme facteur de régression et de transformation des territoires) doivent également être pris en compte. En effet, une partie des citoyens demande de plus en plus que l'impact environnemental de l'aménagement du territoire soit limité. Les questions d'acceptabilité sociale et de justice environnementale autour du développement des infrastructures linéaires de transport prennent ainsi de plus en plus d'importance pour le public au niveau national (Reporterre, 2022). Cependant, ces différents aspects n'ont pas été étudiés ensemble, l'argument climatique l'emportant souvent sur les autres questions.

Reconsidérer l'intégration écologique et paysagère des ILT, en particulier celles dédiées aux modes de transport collectif décarbonés, est donc en ligne avec les engagements nationaux et internationaux pour la conservation de la biodiversité et la demande sociale. Dans ce travail, nous étudions les préférences des citoyens pour une meilleure intégration écologique et paysagère de la construction des ILT dans les zones périurbaines et rurales (tramway dans ce travail). Nous proposons d'étudier le tramway comme un cas concret de compromis dans la demande sociale entre la limitation de l'impact environnemental de l'aménagement du territoire et les contraintes de temps auxquelles les individus sont confrontés dans leurs déplacements quotidiens. Les individus peuvent avoir différentes motivations pour préserver la biodiversité, en fonction du type de biodiversité qu'ils apprécient et de leur système de valeurs. C'est ce compromis entre la limitation du temps et la volonté des individus de préserver différents aspects de la biodiversité, qui est au cœur des politiques d'aménagement du territoire visant l'acceptabilité sociale et la préservation de la biodiversité, qui fait l'objet de notre étude.

Nous abordons cette question sous la forme d'une expérience de choix discret, dans laquelle 1 091 personnes interrogées donnent leur préférence individuelle pour une meilleure intégration écologique et paysagère des extensions de tramway dans les 570 municipalités concernées en France métropolitaine. A travers un questionnaire en ligne, l'expérience de choix discret consiste à ce que les répondants voient défiler ce que l'on appelle des cartes de choix où sont représentées visuellement des situations de trajet en tramway. Chaque carte de choix comporte 2 options qui intègrent les enjeux écologiques et paysagers, avec des durées de voyage augmentées, et 1 option sans intégration écologique ni modification de la durée. Les personnes choisissent dans chaque carte leur option préférée, la question sous-jacente est combien de temps de trajet supplémentaire sont-ils prêts d'accepter pour qu'il y ait plus de biodiversité autour du tramway. Le temps de trajet supplémentaire est ici ce qu'on appelle la variable d'arbitrage (détaillée au prochain paragraphe). Il s'agit ainsi, sans avoir à les interroger directement ce qui pourrait conduire à des réponses évidentes, de comprendre leurs préférences pour l'intégration écologique et paysagère des lignes de tramway et si ces préférences dépendent de leurs caractéristiques individuelles (par ex. âge, sexe, présence et qualité de la biodiversité dans leur commune de résidence) et comportementales (par ex. leur sentiment de proximité avec la nature). Nous supposons que l'expérience des individus avec la nature et leur proximité géographique avec un niveau plus ou moins élevé de biodiversité les rendent plus concernés par les questions de biodiversité.). Les réponses enregistrées sont ensuite analysées afin de comprendre ce qui influence leurs choix à l'aide de deux modèles économétriques (c'est-à-dire, des modèles statistiques utilisées par la discipline économique) différents. Ces deux modèles sont complémentaires et nous

permettent ainsi de répondre à deux questions différentes que nous présentons de façon indépendante dans la suite de cette partie sous la forme de deux sous-sections.

Dans cette section 2.1, un premier modèle, appelé modèle logit mixte, permet de comprendre la façon dont les caractéristiques du trajet influent sur les choix (est-ce que cela joue, si oui positivement ou négativement, et avec quel poids par rapport aux autres caractéristiques) puis de regarder pour chaque caractéristique du trajet si les caractéristiques des personnes ont une influence (par ex. être un homme conduit à encore plus détester avec un trajet rallongé). Une fois les résultats du modèle obtenus, nous intégrons les préférences des usagers concernant la densité d'arbres le long des voies afin d'évaluer dans quelle mesure une intégration écologique et paysagère, par la plantation d'arbres, pourrait atténuer les impacts d'un projet de tramway sur la biodiversité. Cette approche permet d'illustrer les types de contributions que ces méthodes d'analyse peuvent apporter à la prise de décision.

Dans la section 2.2, un deuxième modèle, appelé modèle de classes latentes, permet d'identifier des groupes (ou classes) de personnes qui partagent des préférences similaires, mais sans les connaître à l'avance. On ne regarde donc plus les caractéristiques des trajets indépendamment, ni les caractéristiques des répondants séparément. Le modèle de classes latentes permet de diviser le groupe de répondants en sous-groupes cachés où chaque sous-groupe suit un modèle de choix similaire. Le modèle permet ainsi de décrire les grands types de préférences de trajet et d'y associer pour chacun un profil de personne qui a le plus de probabilité d'avoir ce type de préférence.

Si la plupart des expériences de choix utilisent l'argent comme variable d'arbitrage, nous avons mentionné ci-dessus que dans notre étude, de façon innovante, nous utilisons le temps de trajet supplémentaire qu'implique l'intégration écologique et paysagère du tramway. En tant que ressource limitée, le temps est un facteur crucial dans les décisions des individus, en particulier lorsqu'il s'agit de choisir des modes de transport (Jara-Díaz, 2007). De plus, la disponibilité de cette ressource est liée aux inégalités sociales et économiques, les femmes et les classes défavorisées d'Europe occidentale disposant de moins de temps libre (Chatzitheochari et Arber, 2012). Nous pouvons donc émettre l'hypothèse que les préférences varieront selon les classes sociales et les sexes, l'augmentation du temps de transport ayant un impact plus important sur les femmes et les personnes défavorisées.

2.1.2 Matériels et méthodes

- Méthode : l'expérience de choix discrets

L'expérience de choix discrets (expérience de choix dans la suite du rapport) permet d'évaluer les préférences des personnes en présentant un ensemble de scénarios à un individu qui doit choisir celui qu'il préfère. Les scénarios sont une combinaison de plusieurs attributs¹⁰ de niveaux différents, et une variable correspond à une variable de compromis qui affecte négativement l'utilité¹¹ du scénario pour le répondant. L'expérience de choix est basée sur la théorie de Lancaster (Lancaster, 1966) et la théorie de l'utilité aléatoire (Luce, 1959 ; McFadden, 1974), et les alternatives préférées déclarées sont analysées sous l'angle de la maximisation de l'utilité. Le répondant choisira dans une carte de choix¹² donnée l'alternative qui lui procure le niveau d'utilité le plus élevé parmi toutes les alternatives proposées dans cette carte de choix. Le vaste déploiement de l'expérience de choix dans les approches de préférences déclarées (voir la partie 1.1) a motivé les chercheurs à favoriser les applications dans le monde réel afin d'améliorer la validité des méthodes et des recommandations pratiques (Bishop et Boyle, 2019 ; Johnston et al., 2017). De nombreux biais sont identifiés dans l'expérience de choix qui peuvent limiter la validité de leurs résultats. Lié au mode de collecte des données, à savoir un questionnaire souvent diffusé sur internet, le principal est le biais hypothétique. Ce phénomène se produit lorsque les individus ont tendance à surestimer le comportement qu'ils souhaitent adopter (Xie et al., 2022). Le biais stratégique se produit également dans les études sur les préférences déclarées lorsque les individus déforment délibérément leurs préférences afin d'influencer le processus décisionnel (Meginnis et al., 2021). Afin de limiter l'émergence de ces biais, nous avons conçu une expérience de choix adaptée (par les scénarios, l'attribut et la spécificité de la population enquêtée), et utilisé une manière originale de le présenter et de l'introduire auprès des individus, par exemple via des vidéos, comme détaillé dans les paragraphes suivants.

¹⁰ Un attribut est une caractéristique d'une option dans une expérience de choix discret, comme le temps de trajet ou la nature de l'écosystème traversé par le tramway. Chaque attribut a des niveaux, qui représentent différentes valeurs possibles de cette caractéristique (par exemple, un temps de trajet augmenté de 5, 10 ou 15 minutes, un écosystème urbain, rural ou péri-urbain). Les niveaux permettent de comparer les options en fonction de ces caractéristiques.

¹¹ En économie, l'utilité représente le niveau de satisfaction ou de bien-être qu'un individu tire d'une situation. C'est une mesure subjective de l'intérêt qu'une personne accorde à un choix particulier. Plus l'utilité est élevée, plus le choix est préféré.

¹² Une carte de choix est un tableau où sont présentées plusieurs alternatives, ici de trajets en tramway, décrites par des attributs comme le temps de trajet ou la quantité d'arbres sur le bord des voies par exemple. Chaque personne qui répond à l'enquête (le répondant) doit choisir la combinaison d'attributs qu'il préfère parmi celles proposées sur la carte. L'idée est de simuler un choix réaliste pour comprendre comment les individus prennent leurs décisions en fonction des différentes caractéristiques des alternatives.

- Scénarios et attributs

Le scénario présenté aux personnes concernait l'arrivée d'une nouvelle ligne de tramway à proximité de leur domicile, qui ne nécessiterait aucune nouvelle artificialisation puisqu'elle occuperait l'une des deux voies de circulation routière existantes (cf. Fig. 3).

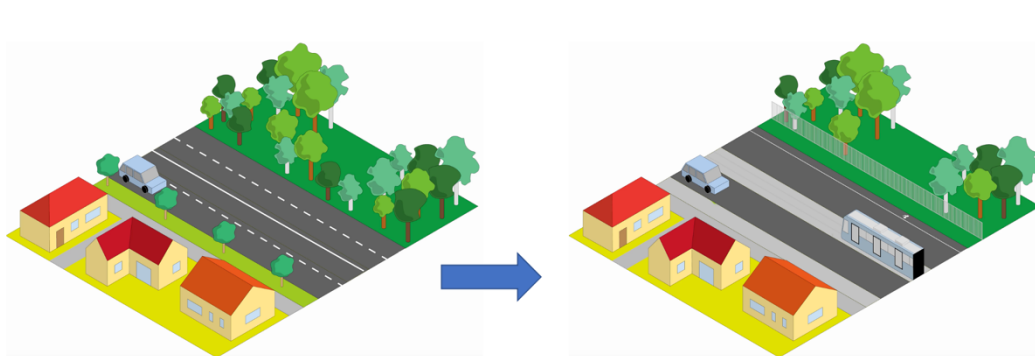


Figure 3 : Scénario d'extension de ligne de tramway proposé lors de l'enquête

L'absence d'emprise foncière supplémentaire dans le scénario a été choisie pour éviter d'éventuelles réactions de protestation contre l'artificialisation. L'enquête est conçue pour évaluer la volonté des individus de voir leur temps de trajet quotidien augmenter en fonction de quatre attributs : un attribut paysager relatif à la couverture arborée autour des voies de tramway, un attribut d'usage de la nature relatif à l'accès ou non à une zone naturelle à proximité des voies, un attribut de biodiversité relatif à la richesse et à l'abondance des espèces, et un attribut de biome relatif au type d'espèce (en fonction de son habitat) que nous détaillons ci-dessous. Afin d'évaluer la disposition des individus à voir leur temps de transport augmenter, nous les plaçons dans un scénario où ils effectuent leur trajet quotidien le plus fréquent en tramway et nous leur proposons des cartes de choix (Figure 4) combinant les différents niveaux des quatre attributs ainsi qu'une durée d'augmentation du temps de transport (variable de compromis).

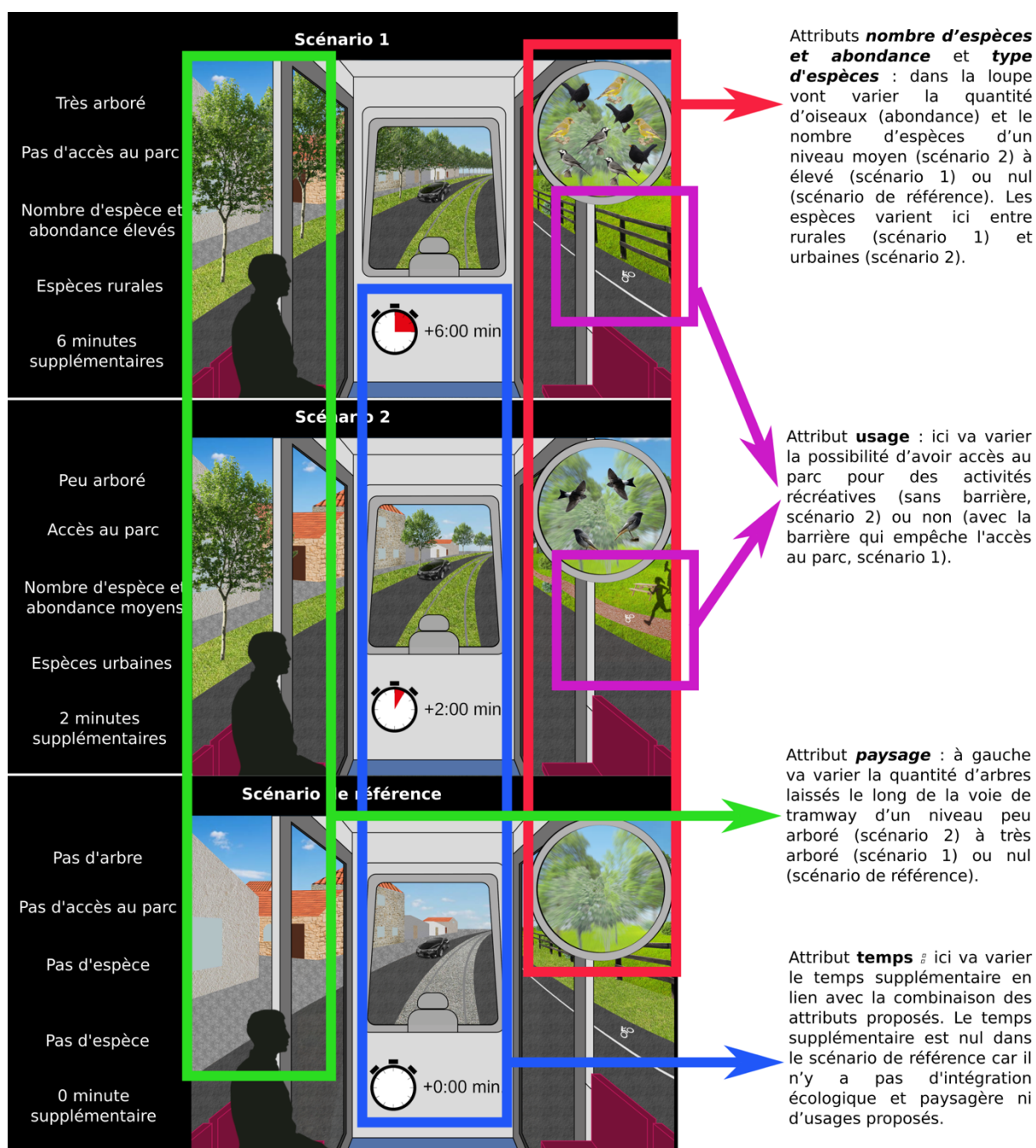


Figure 4 : Présentation des 4 différents attributs (nombre d'espèces et abondance, type d'espèces, paysage et temps) présentés dans les cartes de choix de l'expérience

Le choix de ces attributs a été consolidé à la suite d'une série d'entretiens avec des experts des questions de transport et/ou d'intégration écologique (par exemple, Ministère de l'écologie, associations d'utilisateurs d'infrastructures de transport, experts). Pour limiter les biais hypothétiques liés au libellé de l'attribut (qui peut être compris différemment par chaque individu), nous utilisons une représentation graphique (Shr et al., 2019) ainsi qu'une courte explication de chaque attribut dans la carte de choix (Fig. 4). Nous produisons donc différentes

combinaisons graphiques de paysages, d'usage de la nature, de biodiversité et de biome. L'attribut paysage est représenté par la couverture arborée à gauche, qui masque partiellement le tissu urbain (Fig. 4). L'attribut d'usage de la nature est représenté à droite par une barrière devant la zone naturelle qui peut être présente ou non (Fig. 4). Pour la biodiversité et le biome, nous nous sommes concentrés sur les espèces d'oiseaux car il s'agit d'un taxon populaire (Dayer et al., 2019), qui coexiste avec l'homme dans une diversité d'habitats (Gaston et Evans, 2004) et qui réagit rapidement aux changements environnementaux liés aux activités humaines (Gäüzère et al., 2015; Tayleur et al., 2016). Nous avons choisi de prendre en compte à la fois la richesse en espèces et l'abondance des individus pour représenter la biodiversité, car la richesse en espèces seule est un mauvais indicateur de la biodiversité (Primack et al., 2018) et peut induire un biais dans les préférences des individus, qui peut être limité en incluant l'abondance (Graves et al., 2017). Pour contrôler la régularité entre les niveaux de biodiversité (Duelli et Obrist, 2003), nous faisons varier simultanément la richesse et l'abondance des espèces. Nous avons choisi des espèces d'oiseaux qui étaient principalement appréciées par les gens (Cox et Gaston, 2015) et basées sur leur habitat principal (Storchová et Hořák, 2018). Pour le biome urbain, les espèces suivantes ont été sélectionnées : Martinet noir (*Apus apus*), Hironde des fenêtres (*Delichon urbicum*), Rouge-queue noir (*Phoenicurus ochruros*). Pour le biome périurbain, les espèces suivantes ont été sélectionnées : Merle noir (*Turdus merula*), Bergeronnette des ruisseaux (*Motacilla alba*), Verdier d'Europe (*Chloris chloris*). Pour le biome rural, les espèces suivantes ont été sélectionnées : Hironde rustique (*Hirundo rustica*), Alouette des champs (*Lullua arborea*), Chevalier guignette (*Emberiza citrinella*). L'attribut biodiversité est représenté graphiquement par un nombre d'espèces d'oiseaux et d'individus dans la loupe en haut à droite (Fig. 4). L'attribut biome correspond au type d'espèces d'oiseaux dans la loupe (Fig. 4). Enfin, nous avons choisi de nous concentrer sur une variable de compromis temporelle et non monétaire, car les tramways peuvent être gratuits dans certaines municipalités ou, du moins, les tarifs peuvent varier en fonction des revenus et de l'âge. L'utilisation d'une variable de coût pour un mode de transport potentiellement gratuit pourrait empêcher les personnes interrogées de se projeter dans le scénario proposé. De plus, la vitesse des tramways est réduite lorsque des obstacles (tels que des arbres) se trouvent à proximité des voies, ce qui rend réaliste le scénario d'une modification des temps de transport liée à l'évolution de la couverture arborée et de la biodiversité. Pour obtenir un temps de transport crédible, nous utilisons les résultats du recensement national sur la mobilité (MTE, 2019) qui donne un temps de transport moyen par trajet égal à 20,4 min. L'augmentation du temps de transport est représentée au centre par la partie rouge de la montre (Fig. 4). Il convient de noter que dans chaque scénario, une piste cyclable est représentée sur le côté droit pour se conformer aux exigences légales.

La Table 1 décrit les attributs en mentionnant également leurs différents niveaux et codages¹³ dans les analyses (cf. Table 1).

Table 1 : Description des attributs de l'expérience de choix (noms, description, niveaux et codage).

Attributs de choix	Description	Niveaux	Codage
Paysage	Couvert d'arbres entre les voies du tramway et le tissu urbain en arrière-plan	Pas d'arbres (scénario de référence uniquement)	0
		Quelques arbres cachant 25 % du tissu urbain	1
		Beaucoup d'arbres cachant 75 % du tissu urbain	2
Usage de la nature	Accès à l'espace naturel près du tramway	Pas d'accès	0
		Accès possible	1
Biodiversité	Nombre d'espèces d'oiseaux présentes dans la zone naturelle et abondance des individus	Aucune espèce (scénario de référence uniquement)	0
		Faible nombre d'espèces et abondance (individu d'une espèce)	1
		Nombre moyen d'espèces et abondance (deux individus de	2

¹³ Le codage dans une expérience de choix discret consiste à transformer les niveaux d'attributs en valeurs numériques. Cela permet de faciliter l'analyse des préférences des individus, en attribuant des chiffres aux différentes caractéristiques (par exemple, 0 pour "pas d'accès à l'espace naturel autour des voies" et 1 pour "accès"). Ce processus aide à modéliser et analyser l'impact de chaque niveau des attributs sur les choix.

		deux espèces)	
		Nombre élevé d'espèces et abondance (trois individus de trois espèces)	3
Biome	Type d'espèces en fonction de leur habitat principal	Aucune espèce (scénario de référence uniquement)	Aucune espèce
		Espèces urbaines	Urbain
		Espèces périurbaines	Périurbain
		Espèces rurales	Ruralité
Augmentation du temps	Augmentation du temps de transport par rapport à un trajet quotidien de 20 minutes	0 minute supplémentaire (scénario de référence uniquement)	0
		2 minutes supplémentaires	2
		4 minutes supplémentaires	4
		6 minutes supplémentaires	6
		8 minutes supplémentaires	8

- Conception de l'enquête

Pour comprendre lequel des attributs est le plus important pour les usagers du tramway, nous combinons leurs différents niveaux dans des scénarios où le temps de transport supplémentaire varie. Étant donné que nous avons cinq attributs avec 2 à 4 niveaux chacun et des cartes de choix avec 2 alternatives, le plan factoriel¹⁴ complet génère 144 cartes de choix différentes. Le nombre de combinaisons a été obtenu à partir du plan factoriel saturé à l'aide de la macro %MktRuns du logiciel SAS (SAS, 2007). Le plan saturé (c'est-à-dire le plus petit nombre de cartes de choix) est de 10 mais conduit à 13 « violations » du design¹⁵. Nous avons donc choisi 12 cartes de choix, ce qui permet de réduire le nombre de violations à trois, tout en n'augmentant que légèrement le nombre de choix, ce qui n'affecte pas la fatigue des répondants (Mariel et al, 2021). Nous avons ajouté une réponse de refus à chaque carte de choix : le scénario de référence. L'utilisation d'une « réponse de non-participation (*opt-out answer*) » est censée améliorer le réalisme des cartes de choix et donc les résultats de l'estimation (Campbell et Erdem, 2019 ; Johnston et al., 2017). Ainsi, les personnes interrogées choisissent l'infrastructure de tramway qu'elles préfèrent.

Nous avons sélectionné la combinaison des 12 cartes de choix en suivant une procédure en deux étapes. Nous avons réalisé une étude pilote, c'est-à-dire que nous avons demandé à un petit échantillon de personnes de répondre à l'enquête, pour tester le choix à l'aide d'un plan efficace bayésien¹⁶ (en utilisant le logiciel NGene). Les paramètres préalables bayésiens permettent de définir des priorités aléatoires autour de la valeur des paramètres préalables (Chaloner et Verdinelli, 1995), en d'autres termes, il s'agit d'intégrer dans l'expérience de choix une connaissance a priori sur chacun des attributs. Dans l'étude pilote, le coefficient de priorité (ou prior) pour le temps était de -0,1, négative puisque le temps de transport supplémentaire correspond à une contrainte, et de 0,1 pour la biodiversité, positive puisqu'un niveau élevé de biodiversité est censé être préféré, indépendamment des autres paramètres. Les choix effectués par les répondants de l'étude pilote ont conduit à des combinaisons déséquilibrées. Nous avons

¹⁴ Un plan factoriel est une méthode expérimentale utilisée pour étudier l'impact de plusieurs attributs en même temps. Chaque attribut est testé à différents niveaux, créant ainsi une combinaison de toutes les possibilités. Cela permet d'observer l'effet de chaque attribut individuellement et de leurs interactions. Par exemple, un plan factoriel à 2 facteurs (accès à la nature et biome) avec 2 niveaux pour chaque facteur (oui/non et rural/urbain) génère 4 combinaisons possibles.

¹⁵ Dans les expériences de choix, une violation du design survient lorsque les principes de base, comme la variabilité des options ou la couverture adéquate des attributs, ne sont pas respectés. Par exemple, des choix trop similaires ou une variation insuffisante des attributs peuvent biaiser les résultats. Les choix des participants ne refléteraient alors pas véritablement leurs préférences réelles. Il convient donc de limiter ces violations.

¹⁶ Un plan efficace bayésien est une approche expérimentale qui sélectionne de manière optimale les combinaisons d'attributs à tester, en fonction des informations disponibles au fur et à mesure de l'expérience. Contrairement à un plan classique, il adapte les choix en fonction des réponses précédentes pour maximiser l'information recueillie. Cela permet de réduire le nombre d'options à tester tout en obtenant des résultats fiables.

donc renforcé les priors pour l'augmentation du temps de transport (-0,4) et de la biodiversité (0,3) et ajouté une contrainte (niveau maximal de biodiversité incompatible avec le temps de transport supplémentaire minimal) afin d'obtenir des combinaisons plus équilibrées (D-erreur¹⁷ = 0,127).

L'enquête a été mise en forme via un questionnaire réalisé à l'aide du logiciel libre *Limesurvey* et se compose de cinq parties. La première partie renseigne sur les caractéristiques des répondants par rapport aux critères sociodémographiques qui ont permis d'obtenir un échantillon représentatif de la population échantillonnée en termes d'âge, de catégorie socioprofessionnelle, de sexe et de commune de résidence. Afin de s'assurer que seules les personnes capables de se projeter dans la situation répondent à l'enquête, cette première partie se termine par la question suivante : *Si ce tramway était accessible depuis votre domicile en moins de 15 minutes en voiture ou 30 minutes à vélo, l'utiliserez-vous ?* En cas de réponse négative à cette question, l'enquête s'arrête.

La deuxième partie s'intéresse plus spécifiquement aux habitudes de transport des personnes interrogées : *motif(s) principal(aux) et temps de transport pour les déplacements quotidiens les plus fréquents (travail/études, activités associatives, activités domestiques, loisirs, transport des membres du ménage), modes de transport (à pied, bus, métro, train, tramway, moto, voiture, vélo, trottinette)* afin d'identifier leurs modes de transport habituels, les raisons de leur utilisation et le temps passé à se déplacer.

La troisième partie, qui est le cœur de l'enquête, est l'expérience de choix elle-même. Elle commence par une vidéo explicative (produite à l'aide du logiciel libre Kdenlive) suivie d'une carte de test pour mettre le répondant en situation de répondre et connaître la difficulté perçue de l'exercice. Un *framing* a été mis en place en divisant la population enquêtée en deux groupes : l'expérience de choix est présentée de manière différente aux deux groupes, à travers deux versions de vidéo introductive (avec ou sans information sur le déclin de la biodiversité), pour mesurer l'effet de ces informations sur leurs décisions. La version courte de la [vidéo](#) (3'34") explique la situation de l'expérience de choix, détaille une carte de choix et explique comment y répondre dans le questionnaire. La version longue de la [vidéo](#) (3'55") est identique, mais ajoute 19" d'informations sur le déclin des oiseaux communs, en particulier des oiseaux agricoles et urbains en France au cours des trois dernières décennies (Fontaine et al., 2020), ainsi qu'un bruit

¹⁷ La D-erreur quantifie la "qualité" d'un plan expérimental en termes de l'efficacité de l'estimation des paramètres du modèle. Un plan ayant une faible D-erreur permet une estimation plus précise et fiable des paramètres, car il minimise la variance de ces estimations. Une D-erreur élevée indique un plan moins efficace, où les estimations seront plus incertaines.

de fond de chants d'oiseaux des terres agricoles (provenant de la bibliothèque sonore à licence ouverte sound-fishing.net), en decrescendo du début de la vidéo à la fin de cette présentation (2'50"). La suite du questionnaire est identique pour les deux groupes de répondants : 12 cartes de choix présentant diverses combinaisons d'attributs, avec une situation de référence sans intégration écologique ni augmentation du temps de transport (status quo) et deux scénarios alternatifs se succèdent. Pour chaque carte de choix, le niveau des attributs des scénarios a été représenté graphiquement et explicitement par écrit (Fig. 4).

La quatrième partie du questionnaire vise à identifier les éventuelles réponses protestataires (*Pourquoi avez-vous toujours/parfois préféré le scénario de référence ?*), et à limiter les biais comme les éventuels attributs qui ne sont jamais considérés dans les choix des répondants (*Y a-t-il des critères que vous n'avez pas pris en compte dans vos choix ?*), et le rapport des répondants au tramway à travers une série d'affirmations mettant en avant les avantages ou les inconvénients de ce mode de transport (voir détails dans les annexes de la partie 1). Il se termine par une question ouverte qui permet d'élargir le champ des possibles au-delà de la question de l'extension du tramway : *Plutôt que de développer un tramway, quel autre mode de transport ou mode de vie préféreriez-vous ? (le développement du tramway est déjà important, les zones piétonnes étendues, les pistes cyclables continues et protégées, les bus rapides, le covoiturage, l'augmentation de la proportion de travail à distance, le changement d'emploi pour se rapprocher de son domicile, repenser la ville pour réduire la nécessité de se déplacer en voiture, etc.)*

Enfin, la cinquième partie interroge les caractéristiques sociodémographiques des répondants (*nombre d'enfants, niveau d'études, revenus*). Elle permet également d'évaluer la *connaissance du projet d'extension du tramway* et s'intéresse à l'attention portée par les enquêtés à la biodiversité (*appartenance à une association environnementale, pratique d'activités de plein air, prise en compte de critères environnementaux dans les achats, connaissance déclarée de la nature, fréquence des contacts avec la nature*). Plus généralement, l'attitude des répondants à l'égard de la nature est enregistrée à l'aide de l'échelle d'inclusion de la nature en soi, connue sous le terme anglophone de « inclusion of nature in self scale (INS) » (Schultz, 2002). Cette échelle se présente sous la forme de deux cercles superposés, l'un pour le soi et l'autre pour la nature (Fig. 5), et a été largement utilisée pour évaluer la perception qu'ont les individus de leur lien à la nature (Fehnker et al., 2022 ; Kleespies et al., 2021 ; Martin et Czellar, 2016).

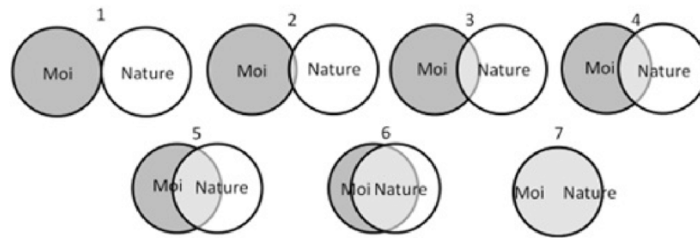


Figure 5 : Échelle d’inclusion de la nature en soi (INS) (Schultz, 2022)

- Collecte des données

Nous avons mené une enquête nationale auprès d'un minimum de 1 000 répondants par l'intermédiaire de l'institut de sondage *Bilendi* (selon le processus standard, les répondants reçoivent un bon d'achat lorsqu'ils répondent à l'enquête). Nous avons utilisé plusieurs critères pour obtenir un échantillon représentatif et cohérent avec notre étude. Tout d'abord, nous avons ciblé les répondants vivant dans des communes proches des futurs projets d'extension du tramway. Nous avons sélectionné les 83 communes françaises réparties autour de 17 agglomérations concernées par des projets d'extension de lignes de tramway (en cours ou projetées, liste fournie par le ministère français des transports) (Figure 6). Ensuite, afin de respecter les possibilités d'échantillonnage de l'institut (besoin de grands centres urbains avec beaucoup de répondants potentiels ou de nombreuses communes avec moins de répondants potentiels), nous avons réalisé des isochrones¹⁸ à l'aide du package R *osrm* (Giraud, 2022) pour identifier les communes situées à moins de 15 minutes en voiture du centre des 83 communes concernées par l'extension du tramway. Cela représente un total de 570 communes. La région Île-de-France a été exclue car ses caractéristiques de transport diffèrent significativement du reste du pays (notamment en termes de temps de transport (MTE, 2019)).

¹⁸ Une isochrone est une courbe ou une ligne qui relie des points ayant le même temps de déplacement ou de trajet depuis un point de départ donné, en fonction du mode de transport.

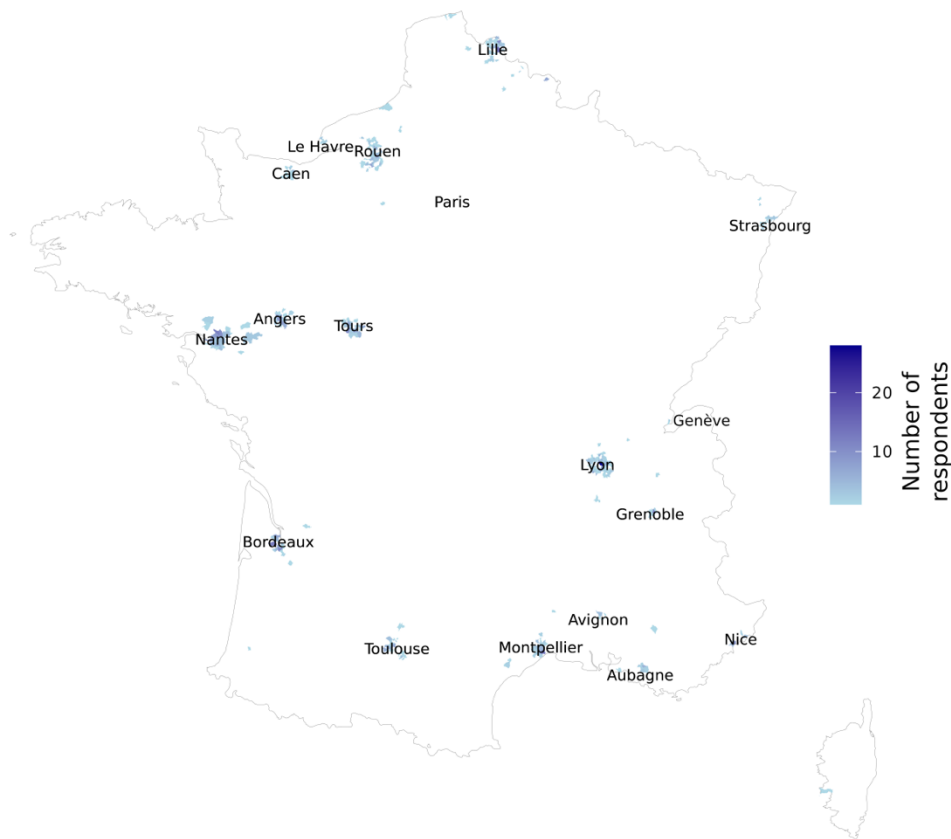


Figure 6 : Distribution géographique du nombre de répondants par grandes villes enquêtées

Nous avons basé notre échantillon sur les quatre caractéristiques sociodémographiques suivantes : l'âge (18-29 ans, 30-44 ans, 45-59 ans, plus de 60 ans), la catégorie socioprofessionnelle (cadres et professions intellectuelles supérieures ; artisans, commerçants, chefs d'entreprise ; agriculteurs ; employés ; professions intermédiaires ; ouvriers ; inactifs ; retraités), le sexe et la commune de résidence. Pour répondre aux besoins de l'institut, les catégories socioprofessionnelles (CSP) ont été regroupées en quatre classes : CSP supérieures (cadres et professions intellectuelles supérieures ; artisans, commerçants, chefs d'entreprise), CSP inférieures (agriculteurs ; employés ; professions intermédiaires ; ouvriers), inactifs (y compris les étudiants), retraités. Nous avons utilisé les données du recensement national (<https://www.observatoire-des-territoires.gouv.fr/>) pour obtenir la distribution attendue dans notre échantillonnage (cf. Table 2).

Nous avons également restreint l'échantillonnage de l'institut en fonction de la naturalité des communes. Un indice de naturalité a été proposé pour résumer l'intégrité biophysique, la spontanéité des processus naturels et la continuité spatio-temporelle des habitats (Guetté et al., 2018). Nous utilisons cet indice pour contrôler si la naturalité de l'environnement d'un individu peut expliquer ses préférences déclarées dans le choix. Nous avons anticipé une surreprésentation

des enquêtés issus de zones à faible naturalité, plus abondantes autour des grandes villes comme pour les enquêtés. Nous avons donc construit trois classes de naturalité pour les 570 municipalités : très faible naturalité (25 % des municipalités ayant la plus faible naturalité), faible naturalité (les 25 % de municipalités suivantes le long du gradient de naturalité) et naturalité supérieure à la moyenne (les 50 % de municipalités restantes) (cf. Figure 7). Nous avons demandé à l'institut de sondage de cibler en priorité les répondants des communes à la naturalité supérieure à la moyenne afin d'obtenir au moins 50 % de répondants dans ces communes et un maximum de 25 % dans chacune des deux autres classes de naturalité.

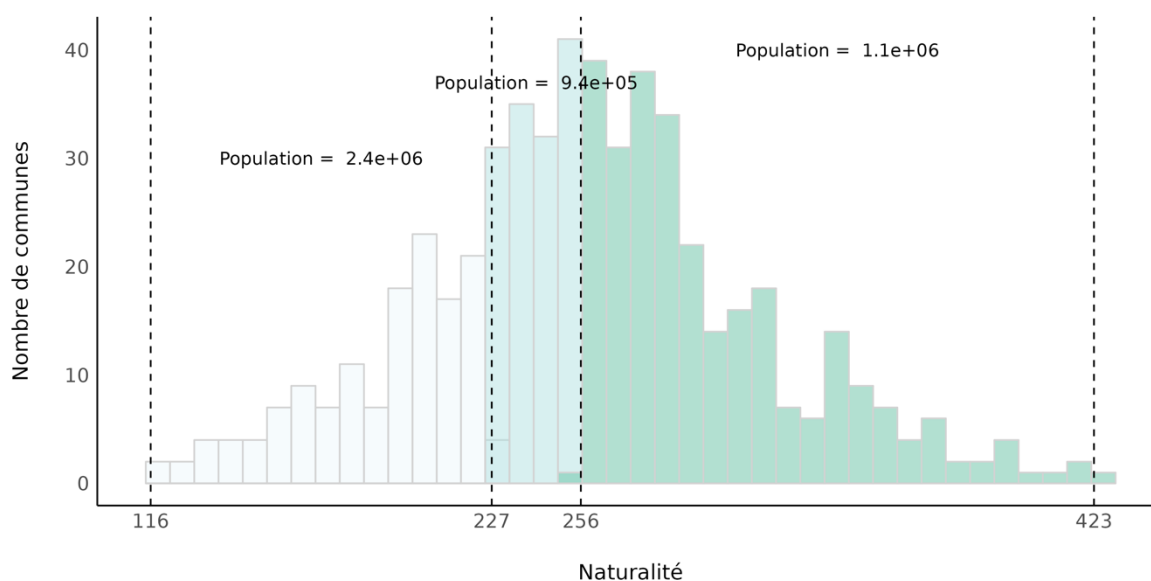


Figure 7 : Répartition des communes et des personnes enquêtées le long du gradient de naturalité

- Analyses statistiques

Modèle logit mixte

Les réponses à l'expérience de choix sont d'abord analysées par un modèle logit multinomial mixte¹⁹ (MLMM, nous utilisons « logit mixte » dans la suite du rapport), une extension du modèle logit multinomial²⁰, afin d'identifier l'hétérogénéité potentielle entre les préférences des individus

¹⁹ Le modèle logit multinomial mixte (« logit mixte » pour la suite du rapport) permet de prédire des choix entre plusieurs options tout en tenant compte des différences entre les individus dans leurs préférences.

²⁰ Le modèle logit multinomial permet de prédire le choix entre plusieurs options, en supposant que chaque personne choisit celle qui lui apporte le plus de satisfaction.

La différence entre le logit multinomial et le logit multinomial mixte est donc que dans le logit multinomial, on suppose que toutes les personnes réagissent de la même manière aux options, tandis que dans le logit multinomial mixte, on tient compte du fait que chaque personne peut avoir des préférences différentes.

en fonction de leurs caractéristiques sociodémographiques. L'utilité est composée d'un terme d'observation et d'un terme aléatoire, autrement dit une partie qu'on peut mesurer ou expliquer, et une autre, plus imprévisible, qui correspond à une part de hasard. Contrairement au modèle logit conditionnel²¹, le logit mixte ne suppose pas que le terme d'erreur du terme aléatoire est indépendant et identiquement distribué, en d'autres termes, il ne suppose pas que les parts non mesurées de l'utilité des individus se comportent de la même manière ou qu'elles soient indépendantes, il accepte qu'elles puissent être corrélées et s'influencer mutuellement. Il s'agit d'une hypothèse forte du modèle logit conditionnel, qui revient à supposer que les variables sont indépendantes et que les préférences des individus suivent une distribution normale²² dans la population, ce qui peut conduire à des erreurs d'interprétation (Páez et Boisjoly, 2022). Au lieu de considérer les préférences de la population comme étant homogènes, le logit mixte modélise explicitement l'hétérogénéité de leurs préférences en permettant aux coefficients d'être spécifiques aux répondants.

Pour ce faire, le terme d'utilité aléatoire d'un individu i ($i = 1, \dots, N$) pour l'alternative j ($j = 1, \dots, J$) dans la carte de choix t ($t = 1, \dots, T$) est (McFadden 1974) (Eq. 1) :

$$U_{ijt} = \beta_i X_{ijt} + \epsilon_{ijt} \quad (\text{Eq. 1})$$

avec X_{ijt} le vecteur $K \times 1$ des niveaux d'attributs (K attributs) choisis par l'individu i pour l'alternative j dans la carte de choix t , β_i le vecteur du coefficient de ces niveaux d'attributs pour l'individu i et ϵ_{ijt} le terme d'erreur iid. La probabilité que l'individu i choisisse l'alternative j dans la carte de choix t est donnée par (Eq. 2) :

$$P_{ijt} = \frac{e^{X_{ijt}\beta_i}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{ijt}\beta_i}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Dans le logit mixte, l'hétérogénéité des préférences des personnes est explicitement modélisée à l'aide d'une densité pour la probabilité de choix, c'est-à-dire que β varie parmi la population des répondants avec une densité $f(\beta)$ (Eq. 3).

²¹ Le modèle logit conditionnel analyse les choix d'une personne en se concentrant sur ses préférences entre différentes options, sans tenir compte des autres individus. La différence entre le logit conditionnel et le logit multinomial mixte est donc que dans le logit conditionnel, on analyse les choix en se concentrant uniquement sur les options disponibles dans une situation donnée, sans tenir compte des autres options possibles à un moment différent. En revanche, le logit multinomial mixte permet d'analyser les choix de manière plus flexible, en tenant compte de la variation des préférences entre les individus, même lorsqu'ils ont plusieurs options parmi lesquelles choisir, et ce, dans différents contextes.

²² La distribution normale décrit une situation où la plupart des observations se concentrent autour d'une valeur centrale (la moyenne), et moins d'observations sont trouvées plus loin de cette valeur.

$$P_{ijt} = \int \left(\frac{e^{X_{ijt}\beta_i}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{ijt}\beta_i}} \right) f(\beta) d\beta \quad (\text{Eq. 3})$$

Pour exécuter le logit mixte, nous avons utilisé le package *R GMNL* (Sarrias et Daziano, 2017) avec 2000 tirages. Nous avons utilisé le modèle logit mixte où le choix fait par chaque répondant est la réponse à prédire, expliqué par des variables spécifiques à l'alternative avec un coefficient générique. Les variables spécifiques à l'alternative avec un coefficient générique correspondent aux cinq attributs du choix (Tab.1) : augmentation du temps de transport comme variable continue, paysage comme variable continue, biodiversité comme variable continue, biome comme variable catégorielle, utilisation de la nature comme variable catégorielle²³. À ces cinq variables s'ajoute une variable spécifiant si le choix est le scénario de référence (constante spécifique à l'alternative²⁴). Les attributs sont aléatoires avec une distribution normale, à l'exception de l'augmentation du temps de transport pour laquelle la distribution est triangulaire²⁵. Contre intuitivement, il peut exister des estimations positives de la valorisation du gain de temps mais, d'une part, la distribution normale, non bornée et symétrique, peut induire une surestimation du nombre d'estimations positives et, d'autre part, la distribution log-normale négative²⁶, qui impose des estimations négatives, a une queue (c'est-à-dire la partie de la distribution qui s'étend vers des valeurs extrêmes) longue qui peut produire une surestimation de l'écart-type et une convergence lente (c'est-à-dire qu'un grand nombre d'itérations sera nécessaire pour que le modèle atteigne la valeur stable des estimations ce qui pourra prendre du temps).

Pour analyser l'hétérogénéité des préférences autour de la moyenne des attributs aléatoires, à l'exclusion du biome, nous utilisons les 10 variables explicatives suivantes : sexe (femme, homme), âge (18-29, 30-44, 45-59, plus de 60 ans), revenu (déciles de la distribution des revenus), CSP (CSP supérieure, CSP inférieure, sans emploi, retraité), naturalité (très faible, faible, supérieure à la moyenne), durée du trajet quotidien (< 20 min, 21-30 min, 31-40 min, 41-60 min, 60-90 min, > 90 min), mode de transport principal (transports publics ou transport personnel non motorisé, transport personnel motorisé), l'échelle INS, les comportements environnementaux (0 à 3 parmi *l'appartenance à une association environnementale, la pratique d'activités de plein air et la prise en compte de critères environnementaux dans les achats*) et le *framing* (sans information sur le

²³ Une **variable catégorielle** est une variable qui prend des valeurs correspondant à des catégories. Elle ne peut pas être mesurée numériquement mais est utilisée pour classer ou diviser les données en catégories.

²⁴ La "constante spécifique à l'alternative" désigne un facteur qui prend en compte les caractéristiques uniques de chaque option choisie, indépendamment des autres variables, pour expliquer pourquoi une personne pourrait préférer cette option.

²⁵ La distribution triangulaire est une distribution de probabilité en forme de triangle, utilisée pour modéliser des situations où l'on connaît une valeur minimale, une valeur maximale et une valeur la plus probable.

²⁶ La distribution log-normale négative est utilisée pour modéliser des données positives, asymétriques, avec une forte concentration de valeurs faibles et des valeurs extrêmes possibles.

déclin de la biodiversité, avec information). Les variables explicatives sont sélectionnées pour éviter la multicolinéarité, c'est-à-dire lorsque deux ou plusieurs variables indépendantes dans un modèle sont fortement corrélées entre elles, en ne retenant que les variables ayant un R^2 de Pearson²⁷ $< 0,3$.

Volonté de passer du temps supplémentaire dans les transports

Nous avons calculé la volonté des personnes interrogées à passer plus de temps dans les transports pour chaque attribut k du choix (Eq. 4) en utilisant la méthode delta. Cette modalité est désignée dans les formules suivantes par l'acronyme anglais correspondant à l'expression *Willingness to Spend Additionnal Time (WTSAT)*.

$$WTSAT = \frac{-\beta_k}{\beta_{time}} \quad (\text{Eq. 4})$$

avec β_k le coefficient de l'attribut k et β_{time} le coefficient du temps de transport augmenté.

Validation du modèle

Nous utilisons le critère d'information d'Akaike, appelé « Akaike Information Criterion (AIC) » et le critère d'information bayésien appelé « Bayesian Information Criterion (BIC) » pour estimer la qualité des modèles et sélectionner l'ensemble final des variables explicatives du modèle. Nous commençons par un modèle avec une interaction²⁸ entre chaque attribut et toutes les variables explicatives (non colinéaires) et supprimons successivement la variable explicative dont l'interaction n'influçait pas la moyenne d'un attribut. Nous sélectionnons ensuite le modèle dont l'AIC et le BIC sont les plus faibles.

Impacts des projets de tramway sur la naturalité

Pour évaluer les impacts écologiques des projets de tramway, nous mesurons d'abord l'étendue spatiale moyenne d'une double ligne de tramway à l'aide de photos aériennes (Google Earth) et trouvons une largeur constante de 13 m dans chaque ville. Nous calculons ensuite l'indice de naturalité et chacune de ses trois composantes (intégrité biophysique, spontanéité des processus naturels et continuité spatio-temporelle des habitats) sur l'étendue spatiale de chaque ligne de tramway, existante et en projet, en France (113 lignes à l'exclusion de Paris) en utilisant un

²⁷ Le R^2 de Pearson, aussi appelé coefficient de détermination de Pearson, quantifie combien la variabilité d'une variable peut être prédite par l'autre.

²⁸ Il s'agit de regarder progressivement l'effet des différentes variables explicatives (âge, sexe, etc.) sur le choix.

tampon de 13 m de large. Nous utilisons une régression linéaire pour estimer la différence de naturalité, d'intégrité, de spontanéité et de continuité entre les étendues spatiales des lignes de tramway existantes et projetées.

Estimation de l'effet de l'intégration écologique sur la naturalité de l'abords des voies

Pour analyser l'effet d'une intégration écologique d'un projet de tramway conformément aux préférences des répondants identifiées via l'expérience des choix, nous considérons l'ajout d'arbres autour des voies de tramway. Nous prenons comme cas d'application la ligne de tramway la plus fréquentée en France (ligne 1 de Montpellier) car elle est représentative de la plupart des lignes de tramway en France en termes de longueur (15,9 km) et d'environnement naturel. Nous annotons manuellement chaque section de la ligne en fonction de la présence ou de l'absence d'arbres à l'aide de photos aériennes (Google Earth). Nous considérons qu'une section est entourée d'arbres si des arbres sont présents au moins d'un côté de la voie, s'ils ne sont pas séparés par une route et si deux arbres consécutifs sont séparés de moins de 15 mètres. Nous testons enfin l'effet de la présence d'arbres sur la naturalité à l'aide d'une régression linéaire pour des zones tampons (c'est-à-dire une bande de part et d'autre des voies) de 2 m à 100 m.

2.1.3 Résultats

- Statistiques descriptives : caractéristiques de l'échantillon

Nous avons obtenu 1 094 réponses complètes (cf. Table 2). Les répondants sont relativement représentatifs de la population étudiée, bien qu'il y ait une sous-représentation des jeunes et des chômeurs (globalement des étudiants), qui constituent un groupe difficile à impliquer dans ces enquêtes.

35 répondants (3,2%) ont systématiquement choisi le scénario de référence. Parmi eux, 34 ont déclaré avoir préféré l'itinéraire le plus rapide parce qu'ils n'avaient pas assez de temps ou que l'augmentation du temps de trajet était trop importante par rapport à leur temps de trajet habituel.

Table 2 : Caractéristiques sociodémographiques des répondants. *Les pourcentages attendus correspondent à la représentativité optimale de la population échantillonnée et ont été fournis à l'institut de sondage avant l'enquête.*

		Obtenu (nombre de répondants)	Obtenu (attendu) (%)
Genre	Femme	583	53.3 (52)
	Homme	510	46.6 (48)
Age	18-29 ans	153	14.0 (26)
	30-44 ans	323	29.5 (26)
	45-59 ans	350	32.0 (27)
	Plus de 60 ans	268	24.5 (21)
Catégories socioprofessionnelles (CSP)	CSP plus élevées	405	37.0 (33)
	dont : cadres et professions intellectuelles supérieures	201	18.4
	dont : artisans, commerçants, chefs d'entreprise	34	3.1
	dont : professions intermédiaires	170	15.5
	CSP moins élevées	335	30.6 (29)
	dont : agriculteurs	2	0.2

	dont : salariés	291	26.6
	dont : travailleurs	42	3.8
	Sans emploi	117	10.7 (18)
	dont : étudiants	46	4.2
	dont : autres	71	6.5
	Retraité	237	21.7 (20)
Naturalité de la commune de résidence	Supérieure à la moyenne	504	46.1 (50)
	Faible	204	18.7 (25)
	Très faible	307	28.1 (25)
Formation	Secondaire court (lycée ou moins)	417	38.1
	Secondaire long (technique et licence)	332	30.4
	Supérieur (niveau master, ingénieur, doctorat)	335	30.6
Revenu mensuel par individu	< 1200 €	82	7.5
	1201-1500 €	95	8.7
	1501-1800 €	76	6.9

1801-2100 €	102	9.3
2101-2600 €	110	10.1
2601-3100 €	159	14.5
3101-3500 €	116	10.6
3501-4200 €	158	14.4
4201-5400 €	114	10.4
> 5400 €	72	6.7

Raison(s) principale(s) du trajet quotidien le plus fréquent	Professionnelles (travail/études)	692	63
	Activités associatives	131	12
	Activités domestiques	615	56
	Activités de loisirs	560	51
	Transport des membres du foyer	199	18

Temps de transport pour le trajet quotidien le plus fréquent	0-20 min	257	23.5
	21-30 min	194	17.7
	31-40 min	141	12.9

41-60 min	219	20.0
61-90 min	154	14.1
> 90 min	129	11.8

Transports publics	172	16
dont : bus	66	6.0
dont : métro	39	3.6
dont : train	15	1.4
dont : tramway	52	4.8

Transport personnel motorisé	636	58
------------------------------	-----	----

Modes de transport

dont : moto	12	1.1
-------------	----	-----

dont : voiture	624	57
----------------	-----	----

Transport personnel non motorisé	286	26
----------------------------------	-----	----

dont : à pied	218	19.9
---------------	-----	------

dont : vélo	60	5.5
-------------	----	-----

dont : trottinette	8	0.1
--------------------	---	-----

- Résultats des analyses statistiques du modèle logit mixte

Hétérogénéité des préférences : résultats globaux

Nous constatons une hétérogénéité dans les préférences pour chaque attribut à l'exception du *biome* (cf. Figure 8 et Table 3). Cela corrobore le choix d'étudier l'effet des variables explicatives sur la distribution des attributs. L'estimation moyenne de l'attribut de compromis (c'est-à-dire l'augmentation du temps de trajet) est globalement négative, même en tenant compte des différentes interactions avec les variables explicatives (figure 8). L'âge des personnes interrogées peut atténuer cette préférence négative, tandis que le fait d'être un homme tend à l'accentuer. L'estimation moyenne du *paysage* est significativement positive (Fig. 8), ce qui est atténué pour les hommes mais augmente pour les répondants plus âgés. Dans l'ensemble, l'effet de *l'usage de la nature* est significativement positif, même en tenant compte des interactions avec les variables explicatives (figure 8). Le fait d'être une femme ou d'être plus âgé tend à accroître cette préférence. Même si une plus grande biodiversité n'est pas préférée en moyenne, elle est privilégiée par les répondants ayant un lien élevé avec la nature (INS plus élevé) et par les femmes. Le status quo²⁹ (représenté par la constante spécifique à l'alternative, soit Alternative Specific Constant (ASC) en anglais qui apparaît dans la figure 8 et la Table 3) n'est pas préférée en moyenne, mais elle a tendance à être préférée par les répondants lorsque la version de *framing* ne comportait pas d'informations sur le déclin de la biodiversité.

Les distributions conditionnelles et inconditionnelles³⁰ montrent bien l'hétérogénéité des préférences et les résultats précédents (cf. Figure 9). La distribution de la constante spécifique à l'alternative (ASC) révèle par exemple qu'une importante partie de l'échantillon a une désutilité à sortir du status quo, mais certains individus retirent une utilité à en sortir, notamment ceux qui ont eu l'information sur l'état de dégradation de la biodiversité (via le *framing* mis en place dans l'enquête). Concernant les attributs d'usage de la nature (*nature use*) et le paysage (*landscape*), les variations dans les distributions révèlent bien l'hétérogénéité des préférences pour ces modalités, mais elles jouent globalement positivement sur la propension des individus à sortir du status quo (et donc à accepter d'allonger leur temps de transport).

²⁹ La situation de référence sans intégration écologique ni augmentation du temps de transport.

³⁰ La distribution inconditionnelle des paramètres est ici la distribution des préférences des individus avant d'avoir observé les données spécifiques à un individu. Elle représente la variabilité générale dans la population, sans prendre en compte les caractéristiques ou les choix observés pour un individu donné. Par exemple, on peut dire qu'une préférence pour un certain attribut suit une loi normale dans la population, mais on ne sait pas encore à quel point un individu spécifique préfère cet attribut. La distribution conditionnelle des paramètres correspond aux préférences estimées pour un individu donné, actualisées en fonction de ses choix observés, et reflète une information personnalisée basée sur ses données.

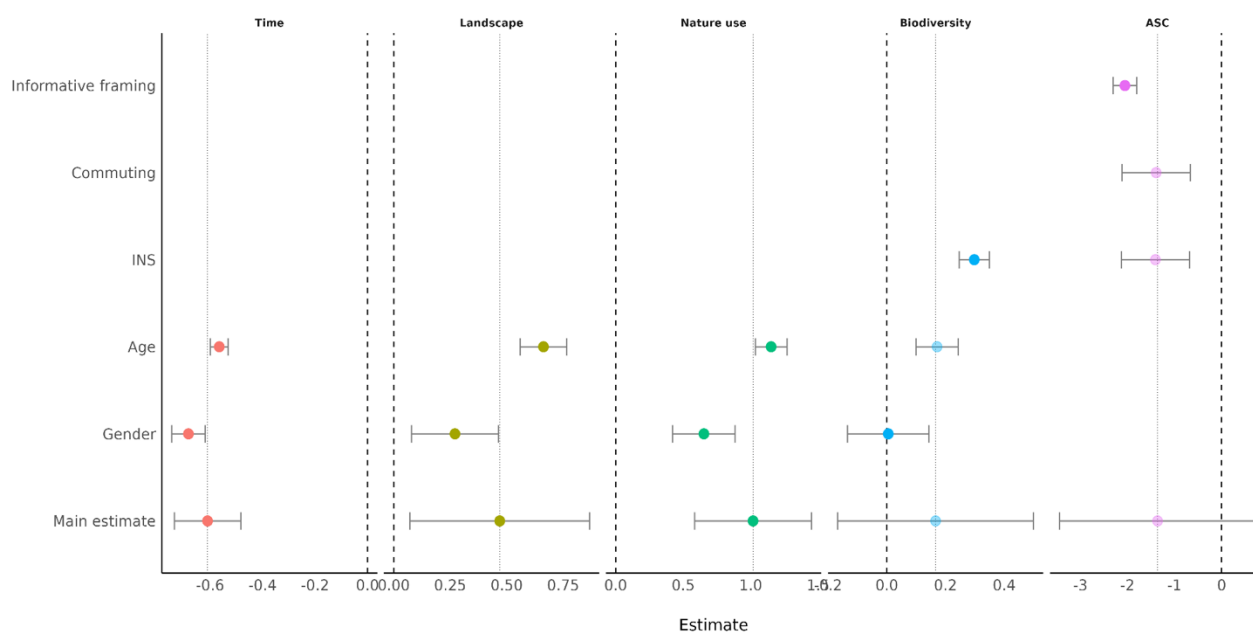


Figure 8 : Estimations du modèle logit mixte et effets des interactions avec les variables explicatives sur les attributs de choix. Les points pleins (non transparents) correspondent aux effets principaux ou aux interactions significatives. Les lignes verticales pointillées correspondent au zéro de l'effet principal. Les lignes verticales pleines correspondent au zéro des interactions (c'est-à-dire à la moyenne de l'effet principal). Les intervalles de confiance (IC) à 95 % sont représentés par des barres grises.

Table 3 : Résultats détaillés du modèle logit mixte. * pour pvalue < 0,05, ** pour pvalue < 0,01, *** pour pvalue < 0,001. Les estimations significatives sont en gras. ASC signifie Alternative Specific Constant, c'est-à-dire constante spécifique à l'alternative

Variable	Estimation	Erreur standard
Temps	-0.61***	0.06
Paysage	0.47*	0.20
Usage de la nature	1.02***	0.22
Biodiversité	0.17	0.17
Biome périurbain	-0.16	0.09
Biome rural	-0.04	0.08
ASC	-1.36	1.06
Temps × sexe	-0.07*	0.03
Temps × âge	0.04**	0.02
Paysage × Genre	-0.20*	0.10
Paysage × âge	0.19***	0.05

Usage de la nature × Sexe	-0.36**	0.12
Usage de la nature × âge	0.13*	0.06
Biodiversité × Genre	-0.16*	0.07
Biodiversité × âge	0.00	0.04
Biodiversité × INS	0.13***	0.03
ASC × INS	-0.05	0.37
ASC × Trajets domicile-travail	-0.03	0.37
ASC × Framing	-0.69***	0.13
SD		
Temps	0.57***	0.03
Paysage	1.14***	0.06
Usage de la nature	1.49***	0.06
Biodiversité	0.80***	0.04
Biome périurbain	0.04	0.13
Biome rural	0.22*	0.11
ASC	3.51***	0.24

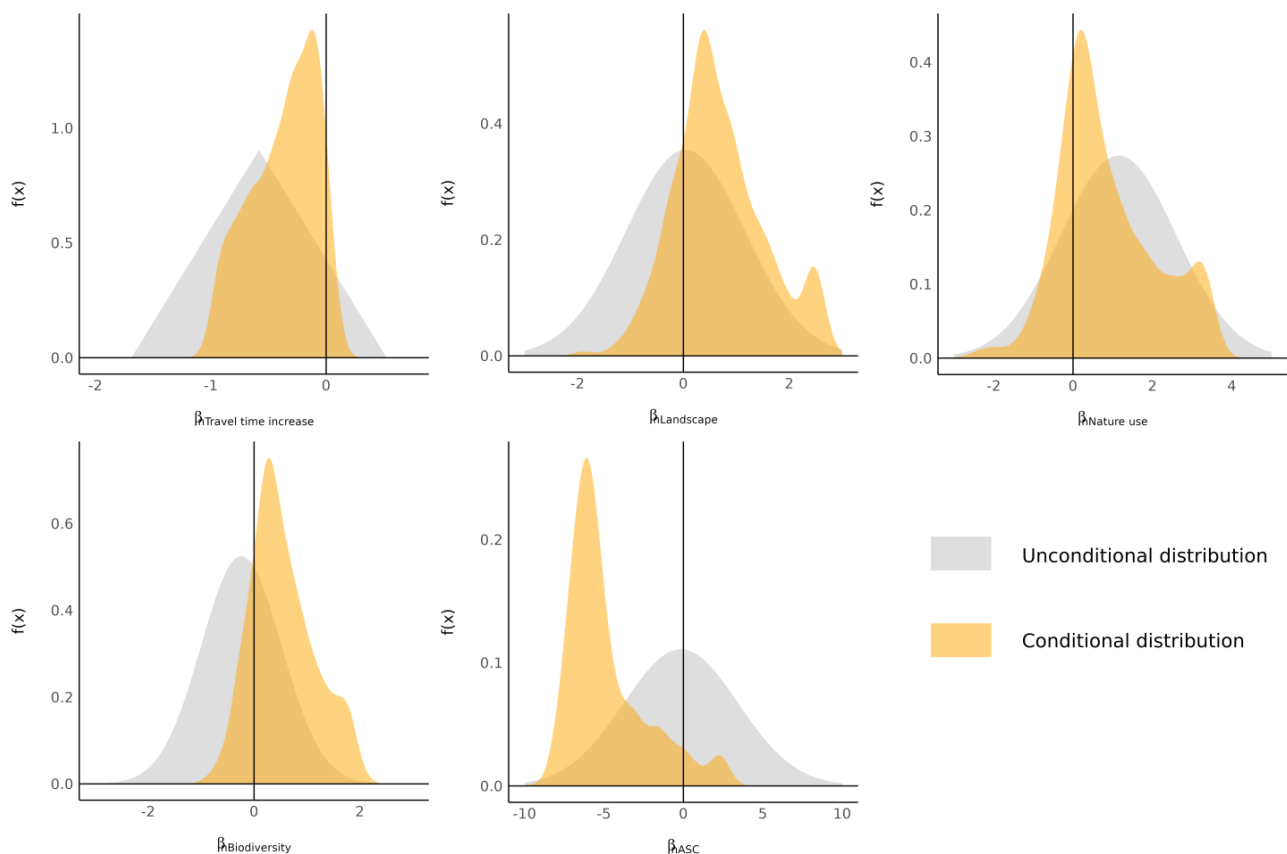


Figure 9 : Distributions conditionnelles et inconditionnelles des paramètres aléatoires.

Résultats de la volonté de passer du temps supplémentaire dans les transports

La volonté de passer plus de temps dans les transports (« volonté » pour plus de concision dans ce paragraphe) (cf. Table 4) souligne l'importance pour les répondants des variables d'usage de la nature et du paysage dans l'évaluation des préoccupations écologiques et paysagères liées aux nouvelles lignes de tramway. La volonté globalement positive afin d'avoir une meilleure intégration paysagère augmente avec l'âge des personnes interrogées (+0,32 [0,14, 0,49] pour chaque groupe d'âge). Cette augmentation de la volonté avec l'âge est également observée pour l'usage de la nature (+0,22 [0,02, 0,42]), mais la volonté pour l'usage de la nature est plus faible pour les hommes que pour les femmes (-0,60 [-1,00, -0,20]). Alors que la volonté pour la biodiversité n'est pas significative dans l'ensemble, elle est significativement augmentée par le lien avec la nature (+0,22 [0,12, 0,31] pour chaque augmentation du score INS et diminue pour les hommes par rapport aux femmes (-0,26 [-0,49, -0,04]).

Table 4 : Résultats de la volonté de passer plus de temps dans les transports. IC à 95% entre crochets.

	Volonté de passer plus de temps dans les transports
Paysage	0.77 [0.07, 1.47]
Usage de la nature	1.67 [0.86, 2.47]
Biodiversité	
Biome périurbain	-0.27 [-0.53, 0.00]
Biome rural	

Analyse de l'impact des projets de tramway sur la naturalité

Nous observons une plus grande naturalité sur la largeur de 13 m des futures lignes de tramway par rapport aux lignes existantes (+12,0 % [11,8, 12,2]). En effet, la diversité d'occupations du sol sur le tracé des futures lignes, allant des routes en terre aux zones non urbanisées, correspond à plus grande spontanéité des processus naturels (+6,0 % [5,9, 6,1]) et à une meilleure continuité spatio-temporelle des habitats (+32,7 % [28,9, 36,5]). En effet, des interventions sur les lignes de tramway existantes ne consisteraient qu'à modifier des sols de type béton ou du gazon représentant une moins grande naturalité. Cependant, la similitude de l'intégrité biophysique entre les projets et les lignes existantes (-1,0 % [-12,0, 10,0]) est cohérente avec leur localisation dans des paysages fortement modifiés par l'homme, même en zone péri-urbaine. Ce résultat fournit une estimation de l'impact écologique local attendu des tramways.

Estimation de l'effet de l'intégration écologique sur la naturalité des abords des voies

Nous utilisons ici à la fois les résultats de l'expérience de choix en termes de préférences des répondants pour l'intégration écologique et paysagère impacts des projets de tramway (car la mesure consiste en l'augmentation de la densité d'arbres aux abords des voies) et les résultats d'impacts des projets de tramway sur la naturalité présentés dans le paragraphe précédent. Nous estimons l'effet potentiel de cette intégration sur la naturalité en considérant la couverture arborée autour de la ligne existante de référence retenue, la ligne 1 de Montpellier, puis nous extrapolons ce résultat à l'ensemble de projets de tramway connus (à l'exception de Paris).

Sur les 15,9 km de, les arbres sont absents sur 8,3 km et présents sur 7,6 km. Les différences de naturalité entre les sections avec et sans arbres varient en fonction de la largeur de la zone tampon (i.e. les abords des voies). La naturalité est significativement différente entre les deux types de sections pour des zones tampons de 20 à 44 m de largeur. En prenant une largeur intermédiaire de 32 m, nous constatons que la naturalité est plus élevée en présence d'arbres (+6,5 % [0,4, 12,6]), principalement en raison d'une plus grande spontanéité (+1,7 % [1,6, 1,8]). Les deux autres composantes de la naturalité sont également supérieures en présence d'arbres, mais de manière non significative (+25,0 % [-137,0, 187,0] pour l'intégrité et +5,0 % [-1,0, 11,0] pour la continuité). L'amplitude limitée des résultats significatifs suggère que cet effet n'est pas dû à un artefact lié à la présence d'arbres dans un espace vert.

L'intégration écologique des tramways avec la plantation d'arbres (espacés de 5 à 15 m, conformément à l'attributs paysage) peut atténuer une partie de la diminution de naturalité due à la mise en œuvre des projets, passant de -13,9 % [-20,7, -7,1] (pour une zone tampon de 32 m de largeur) à -7,4 % [-17,4, 0,0]. En particulier, la baisse de spontanéité pourrait être réduite de -4,7 % [-5,4, -4,0] à -3,7 % [-4,4, -3,0]. En considérant la longueur totale des projets de tramway hors Paris (110,2 km), cela représenterait entre 14 700 et 44 100 arbres ajoutés autour des lignes de tramway, selon l'espacement des arbres (5 à 15 m).

2.1.4 Discussions & Perspectives

Dans cette étude, nous montrons que l'impact écologique des ILTe telles que les tramways n'est pas négligeable et que les citoyens préfèrent une meilleure intégration écologique et paysagère de ces infrastructures, même si cela a un impact sur leurs temps de parcours. L'acceptabilité pour une augmentation des temps de trajet pour des raisons écologiques peut être renforcée par une plus grande sensibilisation du public au déclin de la biodiversité. Cette intégration écologique et paysagère peut limiter, mais non éliminer, l'impact négatif des ILT sur la biodiversité.

Les conséquences du développement des infrastructures de transport sur la biodiversité sont documentées principalement dans le cadre de projets routiers et ferroviaires entre les villes (Bennett, 2017 ; Cork et al., 2024 ; Cornet et al., 2018). La destruction d'habitats causée par les ILT urbaines et périurbaines, telles que les tramways, est étudiée projet par projet, notamment par le biais d'études d'impact, qui laissent peu de place à la quantification et à la comparaison entre les projets (Moroń et al., 2024). L'utilisation d'une métrique standardisée pour la France métropolitaine (Guetté et al., 2018) permet de proposer une première estimation chiffrée de l'impact des projets de tramway sur la naturalité des habitats, en baisse localement de 13,9 %, et donc sur la biodiversité associée à ces habitats. L'accent mis sur l'atténuation du réchauffement

climatique par le développement de services de transports publics sobres en carbone (LOM, 2019) doit donc être mis en balance avec cet impact sur les habitats et la biodiversité, l'atténuation du changement climatique et la préservation de la biodiversité étant intimement liées (Shin et al., 2022 ; Smith et al., 2022). Malgré l'impact du développement des ILT, la biodiversité n'est pas toujours prise en compte dans les expériences de choix liées au transport, qui se concentrent sur d'autres attributs tels que le confort, l'accessibilité ou la distance (Cheng et al., 2020 ; Van Acker et al., 2020). En outre, les expériences de choix portant sur la biodiversité se concentrent principalement sur un seul aspect de la biodiversité (Shoyama et al., 2013 ; Shr et al., 2019). La prise en compte de la richesse, de l'abondance et du type d'espèces permet d'aller plus loin dans cette analyse pour comprendre les déterminants des préférences des individus. Cela plaide pour continuer à encourager la recherche interdisciplinaire afin de marier des compétences à la fois en biologie de la conservation et en économie.

La préservation des paysages et l'accès à la nature sont suffisamment partagés pour ressortir dans les préférences des individus, même s'ils impliquent une augmentation du temps de transport. Des résultats similaires ont été montrés lorsque les répondants étaient considérés comme membres d'une communauté (Mouter et al., 2019), mais l'existence de préférences, à l'échelle des individus de notre enquête, confirme l'importance de ces deux attributs dans le développement de l'ILT. Cependant, ces préférences présentent une hétérogénéité importante. En particulier, ces préférences sont plus prononcées chez les femmes, qui ont tendance à être plus concernées par la préservation de la biodiversité, en plus des paysages et de l'accès à la nature. Ce résultat concorde avec des études antérieures menées dans les pays occidentaux, qui mettent en évidence des différences entre les sexes dans les préférences pour la biodiversité dans les paysages agricoles (Lindemann-Matthies et al., 2010), les valeurs relationnelles avec la nature (Kleespies et Dierkes, 2020) et l'engagement dans les questions environnementales (Stern et al., 1993). Ces observations soulignent l'importance de continuer à promouvoir l'égalité des sexes dans les postes à responsabilité, afin que la biodiversité soit défendue de manière équitable. Par ailleurs, les répondants dont le trajet impacté correspond au trajet domicile-travail n'ont pas exprimé de préférence pour une réduction du temps de transport. Ces résultats doivent être rapprochés des contraintes temporelles souvent plus fortes chez les femmes (Hjorthol, 2008 ; Wigan et Morris, 1981) et de la priorité généralement accordée au gain de temps par les personnes effectuant des trajets domicile-travail (Hensher et Rose, 2007). La préférence pour la préservation des paysages et de la biodiversité, même dans ces profils, souligne l'importance d'intégrer pleinement les enjeux écologiques et paysagers dans le développement des ILT.

La quantification exacte des conséquences des projets de tramway sur la biodiversité nécessiterait une analyse approfondie en amont et en aval de chaque projet, ce qui dépasse le cadre de cette étude. Les estimations proposées doivent donc être considérées comme des ordres de grandeur, notamment pour l'effet tampon de l'intégration paysagère sur la naturalité par la plantation d'arbres le long des voies. Néanmoins, cet effet tampon semble en mesure de réduire partiellement l'impact des projets sur la naturalité. Les arbres, étant des éléments essentiels des stratégies de planification urbaine, jouent un rôle clé dans la lutte contre les îlots de chaleur urbains (Tan et al., 2016 ; Wang et Akbari, 2016). L'intégration écologique des ILT contribuerait ainsi à l'atténuation et à l'adaptation locales des zones urbaines et périurbaines au changement climatique (Norton et al., 2015). Une telle approche représente un exemple concret de synergie entre politiques climatiques et réduction des impacts sur la biodiversité (Smith et al., 2022), tout en répondant aux préférences citoyennes en termes de caractéristiques paysagères (Barracco et al., 2024) ce qui peut augmenter la probabilité d'acceptabilité sociale des projets. Les recommandations, comme l'ajout d'arbre le long des voies, peuvent être fournies à la fois directement aux porteurs de projets d'ILTe mais aussi aux services de l'état afin qu'ils les suggèrent aux différents moments de l'instruction des dossiers. Il est également essentiel que ces idées soient discutées avec les services de transport et de voirie des villes concernées. La présence d'arbres en milieu urbain et sur la voie publique peut poser certains défis qui nécessitent un accompagnement adapté. Ces défis incluent, par exemple, les travaux supplémentaires d'entretien liés au ramassage des feuilles ou à la taille des arbres, les problèmes de santé liés aux pollens allergisants selon les essences plantées, ou encore une augmentation potentielle des particules fines dans l'air en cas de canopée trop dense et fermée (Janhäll, 2015).

L'influence de l'information et de la perception auditive sur le sujet de la biodiversité (framing) dans la formation des préférences doit également être prise en compte. Dans notre étude, une information concise, associée à une stimulation auditive, a suffi à faire préférer les scénarios avec une meilleure intégration écologique. Le manque d'expérience et de connaissance du public sur la biodiversité, particulièrement en milieu urbain (Lindemann-Matthies et Bose, 2008 ; Shwartz et al., 2014), ainsi que la méconnaissance des causes de son déclin (Hunter et Brehm, 2003), tendent à limiter l'importance accordée à la biodiversité dans les choix individuels. À l'inverse, des campagnes d'information sur la biodiversité, diffusées via différents supports (par exemple, panneaux explicatifs, initiatives de sciences citoyennes) (Cosquer et al., 2012 ; Peter et al., 2021), peuvent aider à façonner les préférences individuelles (Gundersen et Helge Frivold, 2011 ; Rambonilaza et Brahic, 2016 ; Spash et Hanley, 1995).

Au-delà des préférences individuelles, nous savons que la majorité des leviers de changement se situe au niveau collectif et institutionnel (Mermet et al., 2013), et que les actions doivent être activées à ces échelles, comme le reconnaissent la plupart des répondants à notre enquête. Ces leviers pourraient inclure des budgets participatifs pour impliquer les citoyens dans la place de la nature en ville, des aides publiques pour favoriser la mobilité et rapprocher domicile et travail, une redistribution des emplois sur les territoires, ou encore des politiques visant à anticiper et atténuer les conséquences de la métropolisation (Faburel et Girault, 2016 ; Sellers et al., 2013).

2.2 Partie 1_Sous-Section 2 : Repenser la valeur du temps & l'hétérogénéité des préférences selon les typologies des répondants (avec un modèle de classes latentes)

2.2.1 État de l'art et problématique posée

Le temps est une ressource limitée qui influe considérablement sur les décisions quotidiennes des individus. Perdre du temps, par exemple lors des transports quotidiens, empêche les individus de l'utiliser pour d'autres activités, ce qui implique un potentiel coût d'opportunité³¹. L'évaluation de la valeur du temps a toujours été un élément clé des analyses coûts-bénéfices des infrastructures linéaires de transport (ILT) (Jara-Díaz, 2007). Au fil des ans, la valeur du temps est apparue comme l'avantage le plus substantiel des projets de transport. Elle représente entre 60 et 80 % des avantages mesurés et monétisés des ILT (Gwilliam, 1997 ; Mackie et al., 2001 ; Mouter, 2016), éclipsant souvent les coûts environnementaux associés aux projets d'infrastructure. Le choix de la valeur économique accordée au temps revêt donc une importance considérable pour la prise de décision publique, notamment dans le cadre des programmes d'investissement pour le développement des infrastructures de transport public. Bien que de nombreuses études dans la littérature aient tenté de mieux prendre en compte les externalités environnementales et les coûts associés dans l'évaluation des projets (Baehr et al., 2023 ; Broniewicz et Ogrodnik, 2020 ; Colorni et al., 1999), l'influence de facteurs additionnels tels que les caractéristiques écologiques sur la valeur subjective accordée au temps de parcours est rarement explorée.

De nombreuses critiques ont été formulées dans la littérature concernant l'évaluation des gains de temps de déplacement, principalement sur deux aspects. Premièrement, on part du principe que les avantages d'une nouvelle infrastructure se traduiront effectivement par des réductions de

³¹ Le coût d'opportunité en économie désigne la valeur de la meilleure alternative à laquelle on renonce lorsqu'on fait un choix.

temps de trajet, un postulat qui ne semble pas être étayé par des preuves empiriques. En effet, il apparaît que les nouvelles infrastructures entraînent souvent une augmentation de la fréquence et de la durée des déplacements, un plus grand nombre de destinations, plutôt qu'une réduction du temps de déplacement (Metz, 2008). Deuxièmement, même en supposant qu'il existe une réduction du temps de trajet, une multitude de questions conceptuelles sont soulevées concernant les méthodes de mesure³² du surplus de bien-être³³ associé à la réduction du temps de trajet. L'une de ces questions repose sur le fait que chaque individu attribue une valeur subjective au temps (Binsuwadan et al., 2023 ; Galvez et Jara-Díaz, 1998), qui peut fluctuer en fonction de facteurs socio-économiques classiques (par exemple l'âge) (Cheng et al., 2020 ; Ma et al, 2015), de la tâche spécifique à laquelle ils participent, ou encore du moment de la journée (Chatzitheochari et Arber, 2012 ; DeSerpa, 1971 ; Shires et De Jong, 2009 ; Tseng et Verhoef, 2008), et de la position du répondant en tant qu'usager de l'ILT ou « simple » citoyen (Mouter et Chorus, 2016). Un autre problème est que les préférences déclarées (celles exprimées directement par les individus dans une enquête ou un questionnaire, voir la section 1.1.2) ont tendance, par construction, à surévaluer les hauts revenus par rapport aux bas revenus en exprimant le consentement à payer, et donc à trouver des valeurs temporelles plus élevées pour les individus plus riches (Jiang et Morikawa, 2004). La valeur du temps élevée influence également les modèles prix-temps utilisés pour estimer les transferts modaux potentiels (Abraham et al., 2016, 1970), où la distribution initiale de la valeur du temps individuelle est souvent inconnue mais est supposée suivre la distribution des revenus (Bonnel, 2002). Pour résoudre en partie ces problèmes, plusieurs pays ont adopté une stratégie consistant à segmenter les valeurs du temps en fonction du mode de transport (voiture, train et avion), du but du déplacement (travail, loisirs, autre) et du type de trajet (urbain, interurbain) lors de l'évaluation des projets d'ILT³⁴ (Boiteux et Baumstark, 2001 ; Meunier et Quinet, 2015 ; Mouter, 2016 ; Quinet, 2014). D'autres améliorations récentes ont également été apportées à l'évaluation du temps de trajet, en tenant compte de l'hétérogénéité des préférences non observées, de la conception des choix et des covariables, y compris les caractéristiques socioéconomiques des usagers des ILT (Batley et al., 2019 ; ITS Leeds, 2017).

Cependant, malgré l'amélioration permise par la segmentation des valeurs du temps, un aspect important reste négligé : **l'impact possible des préférences environnementales sur la valeur subjective accordée au temps**. Il a été prouvé que la sensibilité environnementale des individus et leur relation passée et présente avec la nature jouent un rôle important dans les préférences et les

³² Ces méthodes comprennent des modèles sur les préférences déclarées, les préférences révélées et les économies de coûts qui utilisent une fraction du taux de salaire.

³³ Le surplus de bien-être désigne l'excédent de satisfaction ou de bénéfice qu'un individu ou une société tire de la consommation d'un bien ou service, au-delà du coût qu'il a payé pour l'obtenir.

³⁴ Au moins l'Allemagne, la France, le Royaume-Uni, les Pays-Bas et la Suède (Quinet, 2014, Tome 2).

comportements individuels (Whitburn et al., 2020). En outre, il a été démontré que la prise en compte explicite des impacts environnementaux des projets de transport influençait l'importance de la réduction du temps de trajet (Mouter et al., 2019). Ainsi, la valeur associée à la réduction du temps de trajet est susceptible de varier en fonction des impacts environnementaux perçus des projets et donc de la relation avec la nature en termes de perception et d'utilisation.

Les impacts environnementaux à prendre en compte varient en fonction du mode de transport (avion, voiture, tramway ou train) et de l'intégration environnementale spécifique du projet. Dans le contexte des ILT, au-delà des émissions de polluants induites par l'infrastructure (qui varient selon le type d'ILT), leur construction peut avoir lieu sur des zones qui ne sont pas déjà urbanisées. Cela conduit inévitablement à une artificialisation et à la fragmentation des habitats naturels, et à des impacts directs et indirects sur la biodiversité, les paysages et le fonctionnement des écosystèmes (Bruschi et al., 2015 ; Ibsch et al., 2016 ; Tardieu et al., 2015). Néanmoins, en intégrant des considérations écologiques et paysagères, ces impacts peuvent être partiellement atténués, améliorant ainsi la qualité environnementale globale des ILT. Les ILT peuvent même générer de nouvelles opportunités pour un certain type de biodiversité. Par exemple, l'installation de pelouses sous les voies de tramway (Jakubcová et Horváthová, 2020) permet de verdir les villes, en laissant la place à une biodiversité florale typique et à un ensemble d'espèces proches, sans entretien important (Sikorski et al., 2018). Elle peut également contribuer à limiter les effets du changement climatique, par exemple en limitant les îlots de chaleur urbains (Balany et al., 2020 ; Marando et al., 2022). Plus généralement, les abords des ILT peuvent constituer des zones de corridors potentiels pour la biodiversité (Clevenot et al., 2017 ; Villemey et al., 2018). Cependant, une telle intégration écologique des transports publics implique des ajustements des itinéraires ou des vitesses de transport, qui peuvent finalement avoir un impact sur les temps de trajet et conduire à des nécessaires arbitrages pour les individus.

Dans cette section, nous tentons de comprendre **l'impact des caractéristiques écologiques sur la valeur subjective accordée aux économies de temps de trajet**. Parmi les ILT actuellement privilégiées pour le passage à une économie à faibles émissions de carbone, les tramways deviennent de plus en plus importants pour la mobilité urbaine³⁵. Nous nous concentrons donc sur ce mode de transport, vertueux en termes d'émissions, et axons notre analyse sur les différents niveaux d'intégration écologique de l'infrastructure elle-même. Pour rappel, nous utilisons l'expérience de choix discret déjà présentée dans la section 2.1, qui permet de comprendre

35 Ce mode de transport combine plusieurs avantages en termes d'émissions de GES (véhicule électrique, émettant au moins 11,6 moins par passager/km que la voiture (Sertsöz, 2023)), de qualité de l'air (pas de pneus et moins de congestion sur les routes (Pradono et al., 2015)) et d'urbanisme (régénération en profondeur laissant la place aux transports doux (González et al., 2013)).

concrètement comment les individus pondèrent la qualité environnementale de l'infrastructure par rapport à leur temps précieux. Pour atténuer le biais potentiel inhérent aux méthodes de préférences déclarées, où les individus les plus riches peuvent exprimer une plus grande volonté de payer que ceux qui ont moins de moyens, nous optons pour un numéraire basé sur le temps plutôt que sur les attributs monétaires traditionnels (Meginnis et al., 2020 ; Rai et Scarborough, 2015 ; Rogers et al., 2015). Nous réalisons cette analyse auprès de plus de 1 000 répondants qui ont fait part de leurs préférences individuelles dans le contexte d'extensions réelles de lignes de tramway dans les 570 communes concernées en France métropolitaine. Dans cette section 2.2, nous évaluons le manque de bénéfices dû à l'intégration écologique du projet dans un cadre d'analyse coûts-bénéfices pour montrer l'impact de la prise en compte des préférences environnementales dans l'évaluation des projets de transport. Cependant, contrairement à d'autres cadres tels que "l'évaluation participative de la valeur", le cadre de l'analyse coûts-bénéfices est limité dans sa capacité à mettre l'accent sur les préférences altruistes dans la dépense du budget de l'État dans les politiques publiques (Mouter et al., 2021), comme c'est le cas pour les projets visant à améliorer la qualité de l'environnement pour les infrastructures. Les résultats améliorent notre compréhension de la forte influence des préférences environnementales sur la valeur accordée aux gains de temps de déplacement, et montrent que les cadres utilisés pour évaluer les projets d'infrastructure devraient tenir compte de ces aspects.

2.2.2 Matériels et méthodes

La conception du design de l'enquête ainsi que la méthode de collecte de données étant les mêmes que précédemment (section 2.1), nous ne mentionnons dans la suite de cette section que les éléments spécifiques à cette partie de l'analyse.

- Analyse statistique : le modèle des classes latentes

Les réponses à l'expérience de choix discrets sont d'abord analysées par un modèle logit à classes latentes³⁶ (« modèle des classes latentes » dans la suite du rapport), une extension du modèle logit multinomial³⁷, afin d'identifier l'hétérogénéité potentielle entre les préférences des individus en fonction de leurs caractéristiques sociodémographiques. Au lieu de considérer les goûts de la population comme étant homogènes, le modèle des classes latentes modélise explicitement

³⁶ Le modèle des classes latentes permet de regrouper des individus en sous-groupes cachés (les classes latentes), en fonction de caractéristiques communes qu'on ne peut pas observer directement, mais qu'on peut estimer à partir des données.

³⁷ Pour rappel, le modèle logit multinomial permet de prédire le choix entre plusieurs options, en supposant que chaque personne choisit celle qui lui apporte le plus de satisfaction. Le logit multinomial applique ainsi une règle uniforme à tous, tandis que le modèle des classes latentes permet de segmenter les individus en groupes avec des comportements distincts.

l'hétérogénéité des préférences entre les différents segments (classes latentes) de la population. Par conséquent, on suppose que les répondants sont répartis dans un ensemble de Q classes latentes a priori inconnues de l'analyste (Hensher et al., 2015 ; Schaak et Musshoff, 2020). L'indépendance entre les variables est donc trouvée à l'intérieur de chaque classe latente.

Pour ce faire, le terme d'utilité aléatoire d'un individu i ($i = 1, \dots, N$) pour l'alternative j ($j=1, \dots, J$) dans la carte de choix t ($t=1, \dots, T$) est donné par classe latente (McFadden, 1974) (Eq. 1) :

$$U_{ijt} = X_{ijt}\beta_i + \epsilon_{ijt} \quad (\text{Eq. 1})$$

avec X_{ijt} le vecteur $K \times 1$ des niveaux d'attributs (K attributs) choisis par l'individu i pour l'alternative j dans la carte de choix t et ϵ_{ijt} le terme d'erreur *iid*. La probabilité que l'individu i choisisse l'alternative j dans la carte de choix t est donnée par (Eq. 2) :

$$P_{ijt} = \frac{e^{X_{ijt}\beta_i}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{ijt}\beta_i}} \quad (\text{Eq. 2})$$

En supposant l'existence de Q classes latentes dans la population, l'utilité peut être exprimée comme suit (Eq. 3) :

$$U_{ijt|q} = X_{ijt}\beta_q + \epsilon_{ijt|q} \quad (\text{Eq. 3})$$

avec β_q paramètres d'utilité qui sont maintenant spécifiques à chaque classe. La probabilité que l'individu i choisisse l'alternative j dans la carte de choix t , sachant que l'individu i appartient à la classe q , est donnée par l'équation suivante (Eq. 4) :

$$P_{ijt|q} = \frac{e^{X_{ijt}\beta_q}}{\sum_{j=1}^J e^{X_{ijt}\beta_q}} \quad (\text{Eq. 4})$$

La probabilité pour l'individu i d'appartenir à la classe q (c'est-à-dire la probabilité d'affectation à une classe) est donnée par (Eq. 5) :

$$W_{iq} = \frac{e^{h_i\gamma_q}}{\sum_{q=1}^Q e^{h_i\gamma_q}} \quad (\text{Eq. 5})$$

h_i étant les variables sociodémographiques utilisées pour affecter l'individu i à la classe q et $\gamma_1=0$ pour l'identification.

À partir des équations 4 et 5, nous obtenons la probabilité pour l'individu i de choisir l'alternative j dans la carte de choix t de la classe latente sous la forme (Eq. 6) :

$$P_{ijt} = \sum_{q=1}^Q w_{iq} \frac{e^{x_{ijt}\beta_q}}{\sum_{j=1}^J e^{x_{ijt}\beta_q}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Pour exécuter le modèle des classes latentes, nous avons utilisé le package R *gmnI* (Sarrias et Daziano, 2017). Nous avons suivi l'approche en trois étapes (Weller et al., 2020) dans laquelle nous avons d'abord appliqué le modèle des classes latentes sur les options choisies (1), ce qui nous a permis de calculer des scores latents (ou « cachés ») pour chaque individu (2). Ensuite, nous avons analysé ces scores avec des outils d'analyse classiques que nous décrivons ci-dessous(3). Cette approche en trois étapes est recommandée pour éviter les inconvénients de la procédure en une étape, où l'on combine les attributs de choix et les covariables³⁸. Cette dernière comporte des risques, car elle nécessite une description très précise du modèle et, en cas de mauvaise définition d'une partie, les résultats sur les groupes (ou classes) des individus peuvent être faussés. En divisant l'analyse en plusieurs étapes, on réduit ce risque et on améliore la fiabilité des résultats (Bolck et al., 2004).

Dans un premier temps, nous avons utilisé le modèle des classes latentes, où le choix fait par chaque répondant est la réponse à prédire, expliqué par des variables spécifiques à l'alternative avec un coefficient générique. Les variables spécifiques à l'alternative avec un coefficient générique correspondent aux cinq attributs du choix (cf. Table 1 présentée en section 2.1.2 ci-dessus) : l'augmentation du temps de transport comme variable continue, le paysage comme variable continue, la biodiversité comme variable continue, le biome comme variable catégorielle, l'utilisation de la nature comme variable catégorielle. A ces cinq variables s'ajoute une variable spécifiant si le choix est le scénario de référence.

Dans la dernière étape, nous utilisons un modèle linéaire généralisé avec le score latent de chaque répondant (c'est-à-dire sa probabilité d'appartenance à une classe pour chaque classe latente) comme variable de réponse. Le modèle linéaire généralisé permet donc d'analyser la relation entre une variable de réponse et plusieurs variables explicatives. Contrairement aux modèles traditionnels qui supposent que la relation entre les variables est linéaire, le modèle linéaire généralisé permet de modéliser cette relation de manière plus flexible, en utilisant différentes fonctions mathématiques pour lier les variables entre elles. Ce modèle est particulièrement utile

³⁸ Les covariables sont des informations supplémentaires (comme l'âge ou le revenu) qui peuvent influencer les choix ou les comportements des personnes, en plus des éléments principaux qu'on analyse.

lorsque la variable de réponse suit une distribution autre que la normale ce qui est notre cas. Pour modéliser la réponse, nous utilisons un modèle linéaire généralisé binomial, c'est-à-dire qu'on ne cherche à prédire que deux résultats (appartenance ou non à une classe latente), avec une fonction de lien logit³⁹. Nous utilisons les variables explicatives suivantes : le sexe comme variable catégorielle (homme, femme), l'âge comme variable ordinale (18-29, 30-44, 45-59, plus de 60 ans), l'éducation comme variable catégorielle, le revenu comme variable continue (10 déciles de la distribution des revenus), la naturalité comme variable continue (très faible, faible, supérieure à la moyenne), la durée du trajet journalier comme variable continue (< 20 min, 21-30 min, 31-40 min, 41-60 min, 60-90 min, > 90 min), les déplacements domicile-travail comme variable catégorielle, l'échelle INS, le comportement environnemental et la connaissance de la biodiversité comme variables continues et le *framing* comme variable de contrôle catégorielle (avec information sur le déclin de la biodiversité / sans information). Pour chaque classe latente, nous avons effectué une approche pas à pas basée sur le Critère d'information d'Akaike (AIC) sur le modèle avec les neuf variables explicatives afin d'obtenir le meilleur modèle. Les caractéristiques spécifiques des individus devraient donner lieu à des groupes de préférences distincts, chacun caractérisé par des préférences relativement homogènes. En tant que telle, l'analyse des classes latentes facilite l'interprétation de l'hétérogénéité des préférences dans l'analyse de la demande des usagers, c'est-à-dire la façon dont le temps supplémentaire accepté varie dans la population, et donc si les usagers du tramway accepteront de passer plus de temps dans les transports en raison de la construction d'une ligne de tramway intégrée sur le plan environnemental.

- Validation du modèle

L'analyse du modèle des classes latentes est réalisée à l'aide de l'estimateur du maximum de vraisemblance. L'étape principale de ce modèle consiste à trouver le meilleur nombre de classes latentes qui expliquent au mieux les données que nous avons collectées, c'est-à-dire qui maximise la probabilité des données observées. Plusieurs critères existent pour guider le chercheur, cependant le choix des critères à utiliser reste un sujet de débat et il est donc préférable d'utiliser un ensemble de critères pour évaluer le meilleur nombre de classes latentes. Suivant les recommandations récentes (Abarda et al., 2018 ; Nylund-Gibson et Choi, 2018 ; Weller et al., 2020), nous avons calculé un ensemble de quatre indices pour évaluer l'adéquation du modèle : Critère d'information d'Akaike (AIC), Critère d'information bayésien (BIC), AIC cohérent (CAIC) et Poids approximatif de l'évidence (AWE).

³⁹ La fonction logit permet de modéliser comment les facteurs influencent la probabilité d'une réponse particulière, tout en s'assurant que cette probabilité reste bien comprise entre 0 et 1.

Pour déterminer le nombre optimal de classes et évaluer la qualité du modèle, nous utilisons la probabilité postérieure moyenne⁴⁰ qu'un individu appartienne à une classe, ce qui nous aide à mesurer à quel point le modèle est précis dans ses prédictions (Weller et al., 2020). La mesure doit être maximisée dans le modèle sélectionné et supérieure à 0,90.

Enfin, nous utilisons la distribution de l'échantillon dans les classes (la taille des classes doit être supérieure à 5 % de la taille de l'échantillon et comporter au moins 50 individus) et l'interprétabilité des classes qui consiste à comprendre ce que chaque classe formée par le modèle représente, en identifiant les caractéristiques individuelles ou les comportements qui définissent les individus de chaque classe (Sinha et al., 2021 ; Weller et al., 2020).

- Analyse de la volonté de consacrer du temps supplémentaire

Nous avons calculé la volonté des personnes interrogées de passer plus de temps dans les transports pour chaque attribut k du choix dans chacune des q classes (Eq. 7). Cette modalité est désignée dans les formules suivantes par l'acronyme anglais correspondant à l'expression *Willingness to Spend Additionnal Time (WTSAT)*.

$$WTSAT_{k,q} = \frac{-\beta_{k,q}}{\beta_{time,q}} \quad (\text{Eq. 7})$$

avec $\beta_{k,q}$ le coefficient de l'attribut k dans la classe q et $\beta_{time,q}$ le coefficient d'augmentation du temps de transport dans la classe q .

- Analyse de la prise en compte des préférences environnementales dans l'évaluation des projets

Nous suivons d'abord l'approche classique de l'analyse coûts-bénéfices pour l'évaluation des projets, afin de la comparer aux résultats obtenus par l'intégration des préférences environnementales et de l'hétérogénéité dans l'évaluation du temps de parcours. L'analyse coûts-bénéfices menée pour évaluer les projets d'infrastructure de transport considère généralement la réduction du temps de trajet des voyageurs comme un élément essentiel de l'avantage. La nouvelle infrastructure vise à réduire le temps de transport ($\Delta t_{transport} = t_{no\ infrastructure} - t_{infrastructure}$), ce qui permet d'allouer les gains de temps à d'autres activités, y compris les activités productives et le bien-être social. La conversion du gain de temps en avantages monétaires est obtenue soit à

⁴⁰ La probabilité postérieure représente la probabilité qu'un individu appartienne à une certaine classe, après avoir pris en compte les informations de ses choix.

l'aide d'un ratio du taux de salaire, soit en suscitant directement les préférences en termes monétaires. Nous nous concentrons sur la première méthode, largement utilisée dans l'analyse coûts-bénéfices, pour évaluer monétairement le temps gagné (MTE, 2019b ; US DOT, 2016). Pour ce faire, nous utilisons le coût d'opportunité du temps supporté par les voyageurs et lié à l'arbitrage de l'allocation du temps entre le travail et les loisirs, et nous l'exprimons sous la forme d'un ratio du revenu horaire. Bien qu'une valeur exacte et constante du ratio puisse ne pas être pertinente (Palmquist et al., 2010), une valeur moyenne pour le temps de transport v_{oT} varie entre 25 % et 50 % du revenu I pour les déplacements domicile-travail (US DOT, 2016) et peut être fixée autour de 33 % de I (Parsons, 2017 ; Roussel et al., 2016 ; Ta et al., 2022). Le bénéfice de l'infrastructure $B_{infrastructure}$ est classiquement évalué comme suit (Eq. 8) :

$$\begin{aligned} B_{infrastructure} &= -\Delta t_{transport} \times v_{oT} \\ &= -\Delta t_{transport} \times \frac{1}{3} I \end{aligned} \quad (\text{Eq. 8})$$

avec le revenu exprimé en revenu horaire, obtenu en divisant le revenu mensuel par le nombre légal d'heures (151,67) travaillées par mois.

Dans notre cas, $\Delta t_{transport}$ n'est pas disponible (car $t_{no\ infrastructure}$ est inconnue) mais nous pouvons évaluer le *manque de bénéfice* $L_{benefit}$ dû à l'intégration écologique du projet. Cette intégration implique une augmentation du temps de transport ($t_{infrastructure\ intégrée} = t_{infrastructure} + \delta t_{transport}$). $\delta t_{transport}$ correspond à l'augmentation du temps dans le Tab. 1 et peut être converti en valeur monétaire selon l'approche d'évaluation classique à l'aide de l'Eq. 8. Toutefois, cette approche suppose que v_{oT} est uniquement une fonction du revenu. Si l'analyse des classes latentes met en évidence plusieurs classes avec une fonction d'utilité différente et si la volonté de passer plus de temps dans les transports varie de manière significative entre les classes q et les attributs k , v_{oT} devient dépendant des classes et $L_{benefit}$ peut être exprimé comme suit (Eq. 9) :

$$L_{benefitk} = \sum_{q=1}^Q (\delta t_{transport} - WTSAT_{k,q}) \times v_{oTq} \times p_q \quad (\text{Eq. 9})$$

avec p_q la proportion d'individus dans la classe q .

$L_{benefit}$ est calculé comme une valeur moyenne par habitant. Pour le quantifier à l'échelle nationale, c'est-à-dire en englobant la population concernée par tous les projets de tramway en France, nous estimons le nombre de nouveaux usagers du tramway induits par ces projets. Pour ce faire, nous récupérons d'abord l'effet d'une nouvelle ligne de tramway sur l'utilisation des transports publics (Gagnière, 2012), qui est estimé pour la période la plus récente disponible (2003-2009) à une

augmentation de 20,8% dans les villes où le nouveau tramway est installé, contre une augmentation de 2,5% dans les villes de contrôle (soit un effet net de 18,3% d'augmentation de l'utilisation des transports publics due au tramway). Nous obtenons ensuite la proportion de déplacements en transports publics dans la même zone de chalandise (*autres villes du cluster vers les villes centrales*), estimée à 10,6 % par la récente enquête nationale sur les transports (MTE, 2019a). Ainsi, la proportion de nouveaux usagers du tramway dans une zone où un projet de tramway a été réalisé peut être estimée à 1,94 % de la population. Nous combinons ce chiffre avec la population des 570 municipalités périphériques autour de l'extension du tramway sélectionnées pour notre enquête, représentant 4 490 722 personnes, et estimons le nombre de nouveaux utilisateurs potentiels du tramway à 87 111 personnes.

2.2.3 Résultats

- Identification des classes et des typologies de répondants

Le modèle de classes latentes à 4 classes correspond au nombre optimal de classes si l'on considère les critères d'ajustement du modèle et les critères de diagnostic (Table 5). Les critères d'ajustement du modèle continuent à diminuer avec le nombre de classes mais la probabilité a posteriori est la meilleure pour un modèle à 4 classes avec un nombre d'individus ≥ 50 pour chaque classe.

Table 5 : Critères d'adéquation du modèle des classes latentes (*critère d'information d'Akaike : AIC, critère d'information bayésien : BIC, AIC cohérent : CAIC et Poids approximatif de 'évidence : AWE) et critères de diagnostic (qualité de la prédiction : probabilité a posteriori, distribution de l'échantillon en classes : nombre d'individus dans la plus petite classe et pourcentage de l'échantillon dans la plus petite classe).*

Modèles	Critères d'adéquation du modèle					Critères de diagnostic			
	Log Likelihood	AIC	BIC	CAIC	AWE	Probabilité postérieure	Plus petit nombre de classes (n)	Plus petite de classe (%)	Plus petite taille de classe (%)
2 classes	-9964.908	19959.82	20072.04	20087.04	20259.26	0.979	212		19.4
3 classes	-9450.170	18946.34	19118.42	19141.42	19405.49	0.941	212		19.4
4 classes	-9102.076	18266.15	18498.08	18529.08	18885.01	0.950	50		4.6
5 classes	-8670.987	17419.97	17711.76	17750.76	18198.54	0.939	51		4.6
6 classes	-8501.521	17097.04	17448.68	17495.68	18035.31	0.933	53		4.9

Sur la base de l'estimation des attributs dans le modèle de classes latentes à 4 classes (figure 10, voir les distributions conditionnelles dans les annexes de la partie 1), nous pouvons décrire les

quatre classes. Dans les premières et deuxièmes classes, seule l'augmentation du temps de transport est significative (et négative, respectivement $-0,37 \pm 0,31$ et $-0,46 \pm 0,06$) et ces classes seront appelées ci-après la *classe inférieure déconnectée de la nature* (4,6 % des répondants, voir les annexes de la partie 1 pour la composition sociodémographique) et la *classe supérieure déconnectée de la nature* (19,0 % des répondants). La troisième classe présente une estimation significative et légèrement négative de l'augmentation du temps de transport ($-0,10 \pm 0,06$), tandis que le paysage ($1,06 \pm 0,25$), l'utilisation de la nature ($1,20 \pm 0,20$) et la biodiversité ($0,21 \pm 0,08$) sont significativement positifs. Cette classe sera ci-après désignée comme la *classe "connectée à la nature par le cadre de vie"* (48,3 % des personnes interrogées). Dans la quatrième classe, l'augmentation du temps de transport est également significative et négative, mais avec une ampleur moindre que dans les premières classes ($-0,25 \pm 0,08$). La biodiversité est significativement positive avec une magnitude élevée ($0,81 \pm 0,13$) tandis que l'utilisation de la nature ($-0,28 \pm 0,16$) et le biome périurbain ($-0,41 \pm 0,23$) sont significativement négatifs. Cette classe sera nommée ci-après la *classe connectée à la nature par la sensibilité* (28,1 % des répondants).

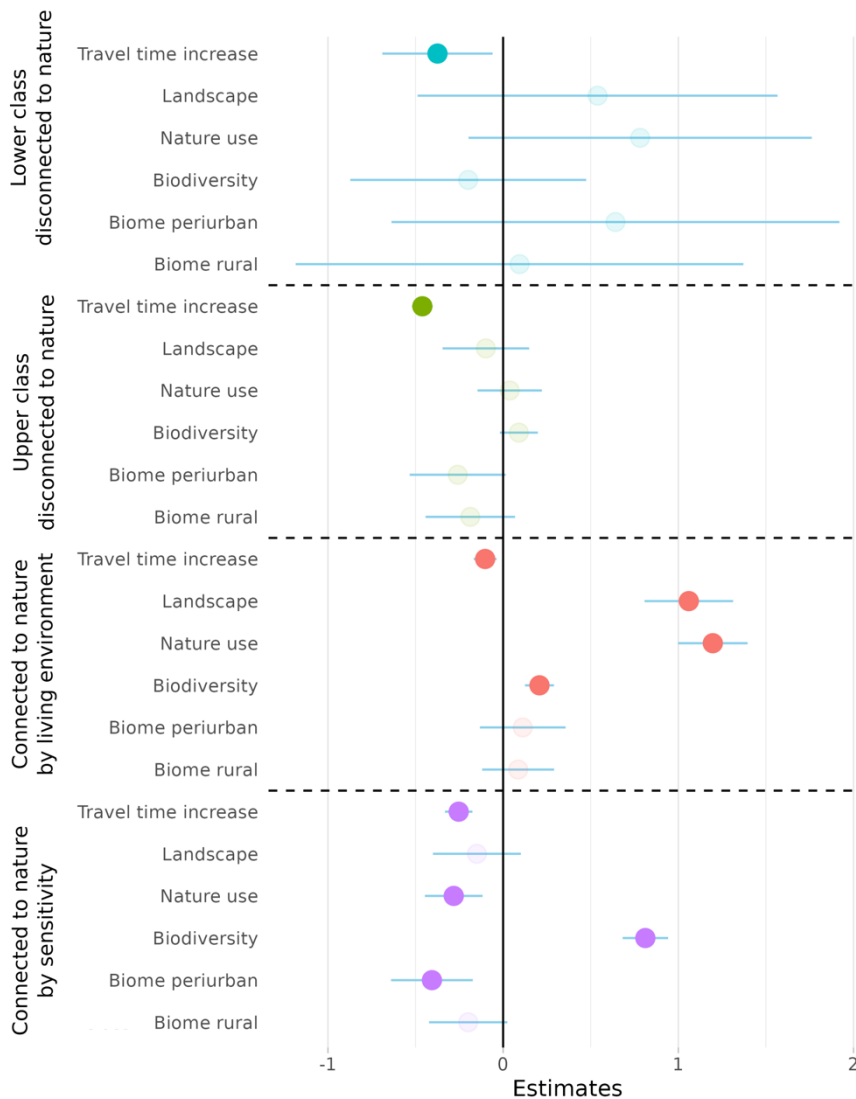


Figure 10 : Résultats du modèle de classes latentes à 4 classes. Les IC à 95 % sont représentés par des segments bleus. Les attributs sont représentés par un point plein lorsqu'ils sont significatifs et par un point ombré lorsqu'ils ne le sont pas.

- Volonté de consacrer plus de temps dans les transports par classes

La volonté de passer plus de temps dans les transports (Tab. 6) met en évidence l'importance de la biodiversité dans les classes *connectées à la nature par la sensibilité* et *connectées à la nature par le cadre de vie*. L'effet négatif de l'augmentation de la durée des trajets, tant pour la *classe inférieure déconnectée de la nature* que pour la *classe supérieure déconnectée de la nature*, l'emporte sur l'effet des autres attributs.

Table 6 : Volonté de passer plus de temps dans les transports. Les IC à 95 % sont indiqués entre crochets.

Volonté de passer plus de temps dans les transports (minutes)	Classes latentes		Connecté à la nature par le cadre de vie	Connecté à la nature par la sensibilité environnementale
	La classe inférieure déconnectée de la nature	La classe supérieure déconnectée de la nature		
Paysage			10.32 [3.31 ; 17.33]	
Usage de la nature			11.65 [3.99 ; 19.31]	-1.11 [-1.84 ; -0.38]
Biodiversité			2.02 [0.50 ; 3.54]	3.20 [2.08 ; 4.32]
Biome périurbain				-1.60 [-2.64 ; -0.56]
Biome rural				

- Déterminants socio-démographiques

Les quatre classes ont été en partie différenciées par la composition sociodémographique de la population et en partie par la relation des répondants avec la nature. La figure 11 détaille pour chacune des classes les probabilités relatives, c'est-à-dire les chances qu'un évènement se produise par rapport à un autre, pour les modèles linéaires généralisés sélectionnés avec des scores latents. Les *odds* mesurent la probabilité d'appartenance à une classe (n'apparaissent sur les graphiques que les variables explicatives sélectionnées par les modèles linéaires généralisés pour chaque classe latente), tandis que les *odds ratios* permettent de comparer cette probabilité entre différentes classes, en tenant compte des effets des variables indépendantes dans le modèle.

La sélection par étapes dans le modèle linéaire généralisé pour les scores latents de la classe 1 (*classe inférieure déconnectée de la nature*) a conservé trois variables non significatives (*revenu, trajet domicile-travail, nature*) et trois variables significatives (*âge, échelle d'inclusion de la nature dans le soi (INS) et comportement environnemental*). Les répondants plus âgés étaient plus susceptibles d'appartenir à cette classe (OR = 1,45, 95 % IC [1,00, 2,11], Figure 11a) mais les répondants plus connectés à la nature (OR = 0,66, 95 % IC [0,52, 0,83], Fig. 11a) ou ayant un comportement pro-environnemental étaient moins susceptibles d'appartenir à cette classe (OR = 0,40, 95 % CI [0,25, 0,63], Fig. 11a).

Le modèle linéaire généralisé sélectionné par étapes pour les scores latents de la classe 2 (*classe supérieure déconnectée de la nature*) a conservé trois variables explicatives : Le *sexe, l'âge* et *l'échelle INS*. Les répondants de sexe masculin étaient plus susceptibles d'appartenir à cette classe (OR = 1,66, 95 % IC [1,18, 2,34], Fig. 11b), tandis que les répondants plus âgés (OR = 0,66, 95 % CI

[0,55, 0,79], Fig. 11b) et les répondants plus connectés à la nature (OR = 0,81, 95 % IC [0,72, 0,91], Fig. 11b) étaient moins susceptibles d'appartenir à cette classe.

Pour les scores latents de la classe 3 (*connexion à la nature par le cadre de vie*), le modèle linéaire généralisé pas à pas a sélectionné cinq variables non significatives, à savoir le *sexe*, le *revenu*, le *caractère naturel*, l'*échelle INS* et la *connaissance de la biodiversité*, ainsi qu'une variable significative, l'*âge*. Les répondants plus âgés étaient plus susceptibles d'appartenir à cette classe (OR = 1,29, 95 % IC [1,12, 1,49], Fig. 11c). D'autres évaluations n'étaient pas significatives mais présentaient des schémas intéressants avec des répondants plus connectés à la nature (OR = 1,10, 95 % CI [0,99, 1,22], Fig. 11c), avec une connaissance plus faible de la biodiversité (OR = 0,78, 95 % IC [0,58, 1,05], Fig. 11c), un revenu plus élevé (OR = 1,05, 95 % CI [1,00, 1,10], Fig. 11c) ou vivant dans des zones naturelles supérieures à la moyenne (OR = 1,20, 95 % IC [0,87, 1,65], Fig. 11c) qui tendent à appartenir à cette classe.

Enfin, pour les scores latents de la classe 4 (*connectés à la nature par la sensibilité*), le modèle linéaire généralisé sélectionné a conservé une variable non significative, le *revenu*, et deux variables significatives, l'*échelle INS* et le *comportement environnemental*. Les répondants plus connectés à la nature sont plus susceptibles d'appartenir à cette classe (OR = 1,22, 95 % IC [1,08, 1,37], Fig. 11d) ainsi que ceux ayant un comportement pro-environnemental (OR = 1,23, 95 % IC [1,03, 1,48], Fig. 11d), alors que les répondants plus riches ont tendance à ne pas appartenir à cette classe (OR = 0,96, 95 % IC [0,91, 1,01], Fig. 11d).

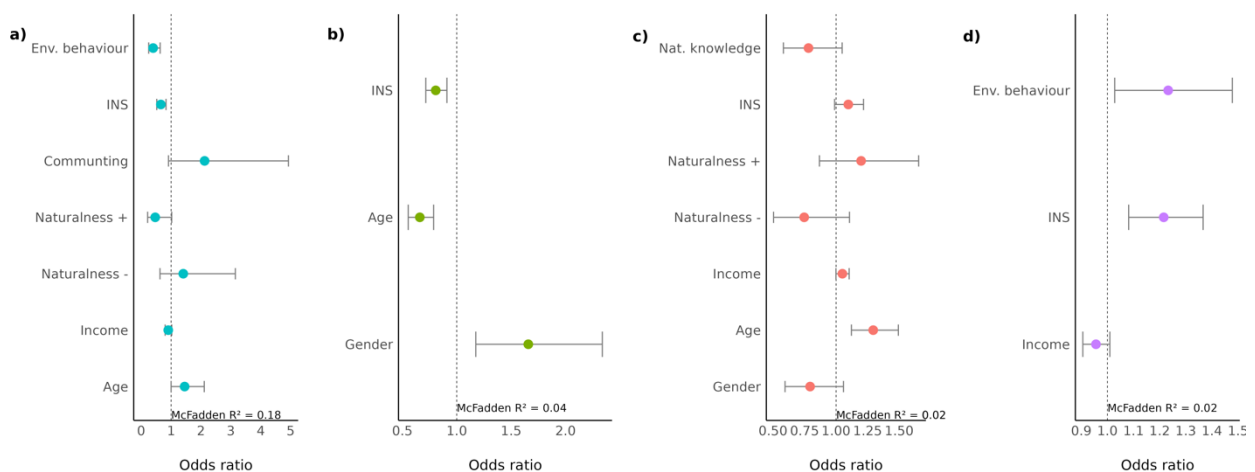


Figure 11 : Probabilités relatives (Odds et odd ratio) pour les modèles linéaires généralisés sélectionnés avec des scores latents pour les 4 classes présentées avec : a) la classe latente 1 (*classe inférieure déconnectée de la nature*), b) la classe latente 2 (*classe supérieure déconnectée de la nature*), c) la classe latente 3 (*connectée à la nature par le cadre de vie*), d) la classe latente 4 (*connectée à la nature par la sensibilité*). Les IC à 95 % sont représentés par des barres grises.

- Impact de la prise en compte des préférences environnementales dans l'évaluation des projets

Nous constatons que l'approche classique de l'évaluation des projets d'infrastructure donne une valeur du temps de déplacement égale à 3,57 €/heure (95 % CIs [0,70, 6,44])⁴¹. Il en résulte un manque à gagner compris entre 0,12€ (IC à 95 % [0,02, 0,21]) et 0,48€ (IC à 95 % [0,09, 0,86]) par habitant du fait d'une augmentation du temps de trajet comprise entre 2 et 8 minutes induite par l'intégration écologique du projet de tramway (cf. Figure 12). Si l'on ajoute à cela le nombre estimé de personnes concernées (87 111), nous obtenons une perte de temps totale comprise entre 174 222 et 696 888 minutes, qui est convertie dans l'approche d'évaluation classique en un manque de bénéfice total compris entre 10 368€ (IC à 95 % [2040, 18 694]) et 41 470€ (IC à 95 % [8161, 74 779]).

Toutefois, si l'on tient compte de l'hétérogénéité de valeur du temps et de volonté de passer plus de temps dans les transports entre les différentes classes et les différents attributs, le coût d'opportunité peut devenir négatif avec l'intégration écologique (c'est-à-dire que l'avantage de l'infrastructure est plus élevé même si la durée du transport est plus longue). C'est le cas de l'intégration paysagère et de l'accès à l'espace naturel, pour lesquels le manque d'avantages est négatif (figure 12) si l'augmentation du temps de transport est inférieure à 4 minutes (soit une augmentation de 20 %). L'intégration de la biodiversité ne rend pas le manque de bénéfices dû à l'intégration écologique du projet négative, mais elle la réduit par rapport à l'évaluation classique et la rend même non significativement différente de zéro (0,01, 95 % ICs [-0,05, 0,07], Fig. 12) pour une augmentation du temps de transport de 2 minutes (c.-à-d. une augmentation de 10 %). Il convient de noter que l'accent mis sur le biome périurbain entraîne une augmentation du manque de bénéfices dû à l'intégration écologique du projet, étant donné que la volonté de passer plus de temps dans les transports pour cet attribut est significatif et négatif pour la classe 4 (*connectée à la nature par la sensibilité*).

⁴¹ Notons que si l'on utilise la valeur de référence pour le temps de transport (la valeur la plus récente, tous modes de transport confondus, est de 8,4 €/h⁻¹ en 2015 (MTE, 2019b), ce qui correspond à 10,35 €/h⁻¹ en 2023), les résultats sont qualitativement similaires. La différence avec l'approche qui prend en compte l'hétérogénéité des préférences entre les classes et l'intégration écologique est encore plus grande. L'approche présentée, basée sur une valeur monétaire du temps dérivée de chiffres internes à notre cas, est donc conservatrice.

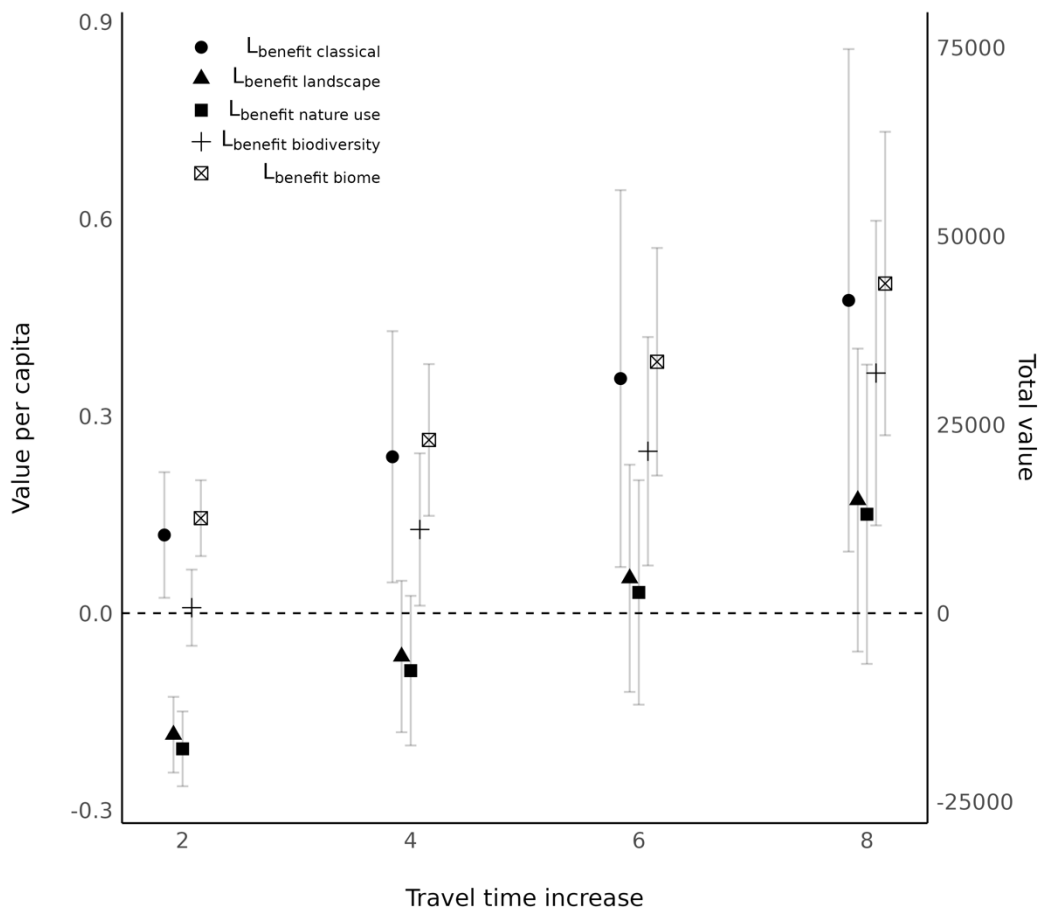


Figure 12 : Comparaison des coûts d'opportunité obtenus suite à l'évaluation classique du temps de parcours (●) et à la prise en compte de l'hétérogénéité des préférences entre classes pour une intégration écologique du projet centrée sur le paysage (▲), l'usage de la nature (■), la biodiversité (+) et le biome périurbain (⊠). L'échelle Y-droite est en € par habitant et l'échelle Y-gauche en € pour l'ensemble des personnes potentiellement impactées. L'augmentation du temps de trajet est exprimée en minutes. Les IC à 95 % sont représentés par des barres grises.

2.2.4 Discussions et perspectives

En utilisant une approche par classes latentes, nous identifions quatre profils latents dans les préférences des gens en matière de compromis entre l'intégration écologique de l'infrastructure linéaire de transport (ILT) du tramway et le temps de déplacement pour les trajets quotidiens. Le revenu et les caractéristiques sociodémographiques expliquent en partie l'hétérogénéité de la volonté des gens d'accepter des gains de temps de déplacement moindres pour des préoccupations écologiques, alors que cela reste principalement déterminé par le lien que les gens déclarent avoir avec la nature. Globalement, l'objectif principal de cette étude était d'obtenir un aperçu empirique de la mesure dans laquelle les individus peuvent attribuer des valeurs

différentes au temps de trajet en fonction de leurs préférences environnementales et de la qualité environnementale de l'infrastructure évaluée.

Comme l'ont montré Mouter et Chorus (2016) et Mouter et al. (2019), un écart possible entre la "valeur du temps du consommateur" et la "valeur du temps du citoyen" peut être observé, car les citoyens peuvent évaluer les impacts positifs et négatifs des projets de transport dans un contexte public plutôt que dans un contexte de décisions privées. Nous voyons ici un exemple typique lié aux caractéristiques écologiques de l'infrastructure dans lequel la possibilité d'atténuer l'impact de l'infrastructure est valorisée malgré l'augmentation potentielle du temps de trajet qui en résulte. Nos résultats montrent que l'ajout explicite de l'intégration environnementale du projet en termes de paysage, d'utilisation de la nature et de biodiversité peut influencer la valeur du temps pour plus de trois quarts des usagers. En particulier, un accès accru aux espaces naturels, un paysage arboré et une plus grande biodiversité (abondance et diversité des espèces) peuvent stabiliser ou augmenter la part des bénéfiques, même si cela se fait au prix d'un temps de trajet plus élevé. Ces résultats corroborent ceux obtenus précédemment sur la préférence sociale pour l'intégration environnementale des projets de transport (Mouter et al., 2019) et les étendent à l'analyse coûts-bénéfices classique.

Cependant, l'effet de la prise en compte de l'intégration environnementale du projet est hétérogène entre les individus. La question de la différenciation de la valeur du temps⁴² lors de la prise en compte des avantages monétaires d'une nouvelle infrastructure de transport est débattue depuis des décennies (Mouter, 2016). Alors que la plupart des pays utilisent une différenciation de la valeur du temps basée sur le motif du déplacement (Mackie et al., 2014), les deux autres principaux facteurs de différenciation proposés, à savoir le mode de transport et les caractéristiques socio-économiques de l'utilisateur (principalement le revenu), font l'objet d'un débat (Flügel, 2014). En ce qui concerne les caractéristiques individuelles, une différenciation de la valeur du temps pourrait éviter une mauvaise affectation des fonds publics (Sugden, 1999), bien que l'intérêt pour la société du temps réaffecté ne soit pas direct, auquel cas la différenciation de la valeur du temps n'est pas pertinente (Mackie et al., 2001). Cela a conduit à des changements dans les pratiques d'évaluation de la valeur du temps dans certains pays (Batley et al., 2019 ; Mouter, 2016). Nos résultats montrent que les préférences environnementales et la qualité environnementale du transport étudié devraient constituer des facteurs de différenciation de la valeur du temps, ce qui devrait réduire considérablement les bénéfiques attendus des gains de

⁴² La différenciation de la valeur du temps reflète le fait que la façon dont les individus évaluent leur temps varie en fonction de leurs besoins, de leurs priorités et des circonstances spécifiques. Par exemple, un passager en retard pour un rendez-vous important pourrait être plus disposé à payer pour réduire le temps de trajet, par rapport à quelqu'un qui peut se permettre de prendre son temps.

temps obtenus grâce à des infrastructures non vertueuses d'un point de vue environnemental. Cependant, ces préférences sont réparties de manière hétérogène au sein de la population, ce qui nécessite des recherches complémentaires pour voir comment intégrer cette hétérogénéité dans les valeurs de référence de la valeur du temps.

Les raisons de préférer une meilleure intégration écologique des ILT diffèrent d'un groupe à l'autre. Les personnes qui ont le temps de se préoccuper de la biodiversité peuvent être divisées en deux profils principaux : celles qui préfèrent avoir accès à de meilleurs paysages et à une plus grande biodiversité, et celles qui préfèrent protéger la biodiversité en elle-même, notamment en la préservant des perturbations humaines. Derrière chaque profil se cache une composition sociodémographique différente, ainsi que des convictions environnementales opposées. Ceux qui acceptent de passer plus de temps dans les transports pour protéger la biodiversité et les paysages afin d'y accéder vivent déjà, en moyenne, dans un environnement largement préservé. Ils appartiennent également aux classes supérieures et sont, en général, plus âgés, avec plus de possibilités de gérer leur temps. Ceci est cohérent avec les résultats précédents montrant que les paysages naturels et la conservation sont davantage loués dans les classes supérieures (Howley, 2011 ; Howley et al., 2010). Les préférences de ces individus correspondent à des valeurs anthropocentriques caractérisées par une vision utilitaire de la nature (Callicott, 1984 ; Milfont et Duckitt, 2004). Ceux qui préfèrent protéger la biodiversité en tant que telle (adoptant ainsi un point de vue écocentrique) sont relativement similaires à la composition sociodémographique moyenne de l'échantillon, mais ce profil regroupe des personnes fortement connectées à la nature. Ceci est en accord avec le fait que l'environnementalisme est principalement présent dans les classes moyennes (Cotgrove et Duff, 1980). Au-delà des facteurs sociodémographiques, le rapport des individus à la nature (qui peut être lié à l'expérience et à la proximité géographique des espaces naturels) joue un rôle crucial dans cette conception des rapports à la nature. Ce dernier résultat est compréhensible (les individus qui se sentent proches de la nature veulent la protéger des perturbations extérieures) mais en même temps paradoxal, puisque les individus les plus connectés à la nature (c'est-à-dire avec une ontologie non dualiste) et avec des valeurs écocentriques semblent ainsi justifier la séparation de la nature des activités humaines (c'est-à-dire l'adoption d'une approche dualiste), comme cela a été observé dans les idéaux de conservation de la biodiversité en Europe (Linnell et al., 2015).

Dans deux autres groupes, cependant, l'inclusion explicite de l'intégration écologique n'a pas d'effet sur la valeur du temps. Un premier groupe de répondants n'accepterait pas de perdre du temps pour une meilleure intégration écologique des ILT, ce qui signifie qu'ils accordent plus de valeur au temps qu'à la biodiversité ou à l'intégration paysagère, et plus que les autres groupes de

répondants. Cependant, leurs salaires sont en moyenne inférieurs à ceux des autres répondants. Cela signifie qu'une mesure économique de la valeur du temps reliant la valeur du temps économisé au salaire sous-estimerait la valeur du temps pour ces personnes interrogées par rapport aux autres. Cela corrobore la nécessité de différencier la valeur du temps en fonction des caractéristiques socio-économiques et les développements récents dans ce domaine (Batley et al., 2019 ; Zhang et Laird, 2014). Ce premier profil est cohérent avec des résultats antérieurs montrant que les personnes à faible revenu ont moins de possibilités de gérer leur budget temps (et choisissent souvent le scénario de référence car elles ne peuvent pas se permettre une augmentation du temps de trajet), passent plus de temps dans les transports et accordent donc plus d'importance à la réduction du temps de trajet (Chatzitheochari et Arber, 2012 ; Schafer et Victor, 2000). Un deuxième groupe de répondants n'accepterait pas de passer plus de temps dans les transports quotidiens pour une meilleure intégration de la biodiversité et du paysage, et leurs salaires sont moyens ou supérieurs à la moyenne. Le fait que ce groupe corresponde à des individus issus des classes supérieures remet en question la thèse post-matérialiste selon laquelle la protection de l'environnement est un bien de luxe réservé aux classes supérieures. Cette thèse a déjà été remise en cause dans des études antérieures (Brechtin et Kempton, 1994 ; Pickett et al., 2008), mais, au-delà d'un simple manque d'intérêt pour l'environnement, nos résultats sont cohérents avec le fait qu'une partie des classes supérieures adopte une perspective industrialiste opposée à l'environnementalisme (Cotgrove et Duff, 1980).

La valeur des gains de temps joue un rôle majeur dans la justification des nouveaux projets de transport censés réduire le temps de transport (Martens et Di Ciommo, 2017). Alors que de nombreuses études dans la littérature ont tenté de développer des méthodologies pour intégrer plus efficacement les externalités environnementales du côté des coûts de l'analyse coûts-bénéfices, peu d'entre elles ont examiné de manière critique le côté des bénéfices. L'importance de la biodiversité est souvent éclipsée par l'importance prédominante des avantages liés au gain de temps, même avec l'utilisation du cadre des services écosystémiques, qui tente d'exprimer le coût de la dégradation de la biodiversité (Tardieu, 2016). Indépendamment des limites de l'approche par les services écosystémiques (Sharman, 2013), la prévalence de l'argument du gain de temps sur la protection de la biodiversité et des paysages va à l'encontre des préférences exprimées par la majorité de nos répondants (76%). De plus, parmi cette majorité, même ceux qui préfèrent préserver la biodiversité pour elle-même représentent une proportion plus importante de la population que ceux qui voudraient d'abord réduire le temps de transport et qui pourraient donc se rallier à l'argument du gain de temps des aménageurs d'infrastructures. Dans le contexte de la transition écologique des politiques européennes de transport public et du déclin majeur de la biodiversité dans lequel les infrastructures de transport jouent un rôle clé, nos résultats

montrent une demande sociale pour une meilleure intégration des ILT qui, bien qu'hétérogène, est observable pour la majorité de la population enquêtée. Ceci plaide pour une meilleure prise en compte des préférences environnementales et de la qualité environnementale des infrastructures dans les cadres d'évaluation des projets. L'analyse de l'utilité de ces projets à partir des préférences exprimées par les citoyens montrerait leur probable absence de légitimation démocratique, voire leur opposition aux préférences des citoyens, mais ne peut être prise en compte par l'analyse coûts-bénéfices, d'où la nécessité d'utiliser des approches alternatives (Mouter et al., 2021).

2.3 Partie 2_ Étude de cas basée sur des ateliers délibératifs pour étudier la construction des préférences collectives des citoyens

L'objectif de la seconde partie du projet est de proposer une méthode de choix délibérative pour mieux appréhender les préférences des citoyens en termes d'aménagement du territoire dans le cas des infrastructures linéaires de transport. Outre la conception de la méthode, il s'agit ici de la tester sur un cas d'étude concret.

2.3.1 Introduction

A l'issue des discussions avec la direction de la Mer de la Région Occitanie, partenaire du projet PÉPITE, et Voies Navigable de France (VNF), qui a accepté de nous accompagner, nous avons retenu comme cas d'étude le Canal du Rhône à Sète. Le devenir de cette infrastructure et de ses usages fait actuellement l'objet de débats. Le canal est actuellement utilisé pour le fret fluvial entre le port de Sète et des zones d'activités desservies par le Rhône, ainsi que pour le tourisme fluvial et terrestre (voies vertes sur ses berges). Dans un contexte de changement climatique et de montée des eaux, son emplacement actuel condamne les activités de fret, voire l'existence même du canal au-delà de 2050. De surcroît, ses berges font face à une dégradation accélérée due notamment à l'augmentation de la taille des embarcations de fret et cette dégradation engendre un envasement impossible à gérer à l'heure actuelle par le gestionnaire (VNF). La pérennisation du fret à son niveau actuel, voire son accroissement, requiert des travaux conséquents de reconstruction des berges et de dragage qui impliqueraient des impacts notables sur la biodiversité étant donné les milieux que le canal traverse (ex : la réserve de biosphère de Camargue). Ces travaux ont aussi un coût élevé et leur amortissement est peu probable d'ici 2050 et très incertain au-delà. Par conséquent, VNF et la Région Occitanie sont pris dans des injonctions contradictoires entre la volonté de maintenir le fret dans une logique de diminution de l'empreinte carbone des transports (le fret fluvial émet quatre fois moins de CO₂ que le fret routier pour une même charge), et celle de préserver les paysages emblématiques locaux et leur riche biodiversité.

Une consultation sous la forme d'une concertation territoriale a donc été organisée par le préfet de la Région Occitanie en 2021 afin d'éclairer le Gouvernement et le préfet d'Auvergne-Rhône-Alpes, coordonnateur du plan Rhône-Saône, sur les décisions d'investissement

à prendre d'ici 2027⁴³. Ainsi, de nombreux acteurs publics et privés concernés par le canal du Rhône à Sète (élus, collectivités territoriales, associations d'usagers, associations de défense de l'environnement) ont été réunis pour engager une réflexion collective sur les enjeux de ce canal. Sous la forme de quatre ateliers thématiques qui concernaient le fret, le tourisme, les élus et l'environnement, une centaine de personnes a échangé autour de ces enjeux. Les ateliers se déroulaient sur une journée avec une matinée dédiée à une table-ronde d'experts pour exposer les enjeux autour des sujets traités, et des débats réalisés durant l'après-midi autour des questions soulevées. Cinq scénarios ont été proposés et étudiés pour penser les futurs possibles du canal (cf. Table 6). En l'absence de discussions transversales entre les différents thèmes, chaque catégorie d'acteur a, sans surprise, privilégié le scénario qui bénéficiait à ses intérêts (e.g. les acteurs du fret ont privilégié le scénario qui visait à augmenter le transport de marchandises). En ce qui concerne les citoyens, « simples usagers » du canal et/ou habitants riverains, ils n'ont pu participer à cette consultation qu'au travers de contributions écrites via la mise en place d'une plateforme collaborative lancée en ligne en parallèle.

Table 6 : Scénarios à 10-15 ans pour l'avenir du canal proposés dans le cadre de la consultation 2020. DPU : Déclaration d'Utilité Publique.

Scénario n°1 : un canal pour des bateaux de 2 500 t, chargés à 100 %

Scénario n°2 : un canal pour les bateaux conformes à la DUP de 2010

Scénario n°3 : un canal pour les bateaux actuels chargés à 1 100 t

Scénario n°4 : un canal pour les colis lourds, le fret de niche et le petit tourisme fluvial

Scénario n°5 : un canal dédié à la pêche, aux loisirs locaux et aux promenades

Scénario	Investissement	Berges	Transport de marchandises	Référence de fret similaire
1	220 M€	A reconstruire	2 500 t	NA
2	110 M€	A reconstruire	1 800 t	DPU 2010
3	70 M€	À renforcer	1 000 t	Présent
4	32 €	Aucun travail n'est nécessaire	NA	1920-1990
5	10 €	Aucun travail n'est nécessaire	NA	1800

Le scénario retenu à la suite des ateliers correspond principalement à un accroissement du fret et donc à d'importants travaux impactant la biodiversité. Cependant à ce jour, leur réalisation est

⁴³ Les documents relatifs au déroulement de la concertation organisée par VNF se trouvent sur ce lien : <https://www.prefectures-regions.gouv.fr/occitanie/occitanie/Grands-dossiers/Concertation-sur-l-avenir-du-canal-du-Rhone-a-Sete-restitution-des-travaux>

pour l'instant bloquée par manque de moyens. Ces fonds pourraient être débloqués grâce à des crédits européens pour lesquels une demande est en cours.

Notre objectif dans ce cas d'étude vise à expliciter et à élucider les préférences des citoyens, simples usagers et riverains du canal, sur la question du devenir du canal du Rhône à Sète et de l'évolution de ses usages en contexte de changements globaux. Nous mobilisons pour cela les approches délibératives qui permettent, au-delà de l'explicitation des préférences, d'étudier également la construction de celles-ci en favorisant les échanges entre les participants (cf. section 1.1.2 de l'état de l'art). La problématique posée peut se formuler ainsi : En quoi le partage d'information et les démarches délibératives permettent l'évolution et l'enrichissement des préférences individuelles des citoyens ? Cette problématique répond à l'hypothèse (H2) posée en section 1.3. qui est la suivante : l'apport et le partage d'information entre acteurs via les outils de l'information spatiale et les démarches délibératives permettront une meilleure connaissance et appréhension des enjeux environnementaux sur leur territoire, ce qui aura alors un effet positif sur la demande sociale pour l'intégration plus écologique des ILTe (Billaud et al. 2020 ; Campagne et Roche, 2018 ; Bunse et al., 2015).

Afin de tester cette hypothèse, nous avons mis en œuvre deux séries d'ateliers délibératifs sous la forme de focus groups avec les citoyens situés sur deux zones caractéristiques du canal du Rhône à Sète : la zone de Sète et celle d'Aigues-Mortes. Les enjeux sont en effet très différents sur ces deux territoires : le port de Sète constitue la porte d'entrée et de sortie du fret fluvial, et la Camargue gardoise représente un territoire plus sauvage avec des berges de canal moins aménagées et des zones de biodiversité très riches.

Les ateliers se déroulent de la manière suivante : 1) nous présentons les cinq scénarios de la consultation (cf. table 6) aux participants en début d'atelier accompagnés d'une information sur les enjeux du devenir du canal, et nous demandons aux participants de remplir un questionnaire sur leurs préférences au regard des enjeux à privilégier ; 2) Le cœur de l'atelier consiste ensuite au déroulement de la délibération pour le choix des scénarios à retenir (qui peuvent être inventés dans le cadre de l'atelier) via la mobilisation d'un jeu de territoire qui permet aux participants de travailler collectivement à l'élaboration d'un scénario à partir d'une carte du territoire ; 3) A l'issue de ce travail collectif, nous demandons à nouveau aux participants de remplir le même questionnaire qu'en amont de l'atelier afin de recueillir leurs préférences individuelles suite à la délibération et d'évaluer son impact en fonction des évolutions de celles-ci.

Le jeu de territoire est un outil de recherche-action qui se déroule en trois temps. Il commence par le partage d'un diagnostic des enjeux et dynamiques du territoire à l'aide d'une carte du territoire et de fiches reprenant les enjeux du territoire et jouées à tour de rôle par les participants. La deuxième phase est celle de proposition de scénarios d'évolution par chaque participant. Ils sont ensuite synthétisés et la troisième étape correspond au cadrage des actions possibles qui sont débattues pour aboutir à la proposition d'une liste de pistes d'actions pour arriver aux orientations souhaitées.

L'analyse des préférences a priori (en début d'atelier et a posteriori permettra d'analyser les potentiels changements de préférence des participants ainsi que leur préférence ou non pour le scénario co-construit permettant de comprendre si ce dernier fait l'objet d'un consensus. Comme pour l'expérience de choix sur l'intégration écologique et paysagère du tramway, nous pourrions mesurer l'effet des caractéristiques socio-économiques et des préférences individuelles sur la conservation de la biodiversité ou les modes de transport de nos participants sur leur propension à changer de scénario préféré.

2.3.2 Etude de cas : le canal du Rhône à Sète et son contexte

Le canal est une infrastructure de transport linéaire située dans le sud de la France qui relie le port de Sète au fleuve Rhône. Il assure également la liaison entre le canal du Midi à l'ouest, vers Toulouse et Bordeaux, et le Rhône, qui donne accès au reste des voies navigables du nord de l'Europe. Commencé à la fin du 18^e siècle, il a été achevé au début du 19^e siècle. Sa profondeur est passée de 2 à 3 mètres et il a été élargi au cours du XX^e siècle, ce qui a permis d'augmenter le tonnage possible des bateaux de marchandises de 400 à 700 tonnes. Les berges n'ayant pas été reconstruites lors de ces différentes modifications et la taille des bateaux ayant augmenté, les berges se sont rapidement érodées au cours des dernières décennies.

L'affaiblissement des berges et l'envasement du canal s'opposent aux projets d'augmentation du flux de fret envisagés dans les années 2010 (l'objectif était de passer de 400 000 t à 1 000 000 t par an). Une déclaration d'utilité publique (DPU) a été délivrée en 2010 pour le projet de modernisation du canal, mais des désaccords subsistent sur la taille des navires : 1800t pour le concessionnaire Voies Navigables de France (VNF), 2500t pour le port de Sète. Les travaux sont également remis en cause, la réparation des berges endommagées n'étant pas prévue dans le projet d'investissement. Suite à ce retard dans le projet de modernisation, une concertation avec les différentes parties prenantes (élus, collectivités locales, associations d'usagers, associations de protection de l'environnement) a été lancée en 2020, après une synthèse des enjeux du canal qui a permis d'identifier les parties prenantes.

Outre le trafic de marchandises, qui est actuellement l'une de ses principales utilisations, d'autres activités, notamment le tourisme, sont également liées au canal. Le canal est également un écosystème unique, traversant plusieurs zones de grande biodiversité. Les modifications prévues de cette infrastructure auront potentiellement un impact sur les espèces associées (par exemple, la reconstruction des berges avec des enrochements détruit les berges sablonneuses, qui sont une zone de nidification pour le guêpier d'Europe). De plus, le changement climatique entraîne une élévation du niveau de la mer et une érosion du trait de côte, ce qui risque d'affecter le canal dans la seconde moitié du 21^e siècle. Par conséquent, l'utilisation du canal ne peut être garantie au-delà de 2050, ce qui empêche un retour sur investissement positif.

La consultation 2020 a pris la forme de quatre ateliers avec les parties prenantes et d'un questionnaire envoyé à 245 riverains. Les ateliers ont été menés chacun avec un type d'acteur et un thème particulier (élus, environnement et territoire, fret, tourisme), sans dialogue entre les différents types d'acteurs. Aucun consensus ne s'est dégagé parmi les élus, les acteurs de l'environnement et du territoire privilégiant le scénario 5, les acteurs du fret le scénario 2 et les acteurs du tourisme le scénario 4. Le questionnaire destiné aux riverains ne présentait pas les scénarios, mais visait à mieux comprendre les usages, les connaissances et les attentes des riverains vis-à-vis du canal. Les résultats du questionnaire ont mis en évidence une prise de conscience de l'état dégradé du canal et des attentes pour une plus grande attractivité et une mise en valeur de la richesse environnementale du canal. Les résultats de la consultation ont souligné une réduction des ambitions en matière de fret par rapport au projet de 2010 (le flux de fret visé a été réduit à 500 000 t par an), la nécessité de maintenir le canal en tant qu'infrastructure de transport, la nécessité de développer l'aspect touristique via des équipements dédiés (par exemple des mouillages) et, surtout, la nécessité de mettre en place une gouvernance pour la gestion à long terme du canal. Depuis, le manque de financement a empêché la réalisation de l'ensemble des travaux identifiés.

- Évaluation des préférences

Notre objectif consiste à étudier les préférences des citoyens autour de la question de l'avenir du canal du Rhône à Sète et de l'évolution de ses usages dans un environnement changeant. Nous avons donc réalisé un questionnaire d'évaluation des préférences avant et après l'atelier délibératif visant à élaborer un scénario prospectif pour le territoire. L'analyse des préférences a priori et a posteriori permet d'identifier les évolutions potentielles des préférences des participants à l'issue de ce travail collectif et délibératif.

Le questionnaire pré-atelier est rempli par les participants juste avant l'atelier, sans aucune information supplémentaire. Il est divisé en cinq parties. La première partie demande des informations sur l'identité du participant afin de faire le lien avec le questionnaire post-atelier. Dans la deuxième partie, il est demandé au répondant s'il utilise le canal et à quelles fins. Dans la troisième partie, le répondant est invité à évaluer, à l'aide d'une échelle de Likert à cinq choix (pas important, pas très important, plutôt important, très important, ne sait pas), l'importance des principaux rôles et utilisations du canal pour la région à l'heure actuelle et à l'avenir (20 prochaines années), ainsi que leur importance pour le répondant.

Dans la quatrième partie, nous avons utilisé les quinze propositions pour situer les répondants sur l'échelle du Nouveau Paradigme Ecologique (NEP) (Dunlap et al., 2000), une mesure largement utilisée pour situer la vision du monde concernant la nature et la relation entre les humains et la nature (Dunlap, 2008). Dans la cinquième partie, il est demandé au répondant qui devrait financer les investissements dans la protection de la nature au niveau des canaux (l'Etat, les collectivités locales concernées, les usagers professionnels, les usagers récréatifs, les riverains), ainsi que des données sociodémographiques concernant le sexe, l'âge, la catégorie socioprofessionnelle, le revenu, le niveau d'éducation, et l'appartenance à une association d'usagers des canaux ou de protection de l'environnement.

Le questionnaire post-atelier est rempli par les participants à la fin de l'atelier et correspond aux première et troisième parties du questionnaire pré-atelier afin de mesurer l'évolution des préférences et l'importance perçue des rôles et usages du canal.

2.3.3 Matériels et méthodes

- Atelier délibératif : mobilisation d'un jeu de territoire

Conception

Afin d'étudier la construction des préférences des citoyens dans la délibération, nous utilisons le cadre méthodologique fourni par le jeu de territoire, un outil de prospective participative développé par (Lardon, 2013 ; Lardon et al., 2008), qui propose une représentation spatiale servant de base à la délibération entre les participants. En mobilisant des représentations spatiales collectives, ce jeu facilite la compréhension des dynamiques du territoire, tout en permettant à chacun de participer et de s'exprimer.

Le jeu se déroule en trois étapes. Il commence par le partage d'un diagnostic des enjeux et des dynamiques du territoire à l'aide d'une carte du territoire et de cartes recensant les structures et

les dynamiques du territoire, jouées à tour de rôle par les participants autour d'une table selon leur importance subjective (c'est-à-dire que chaque joueur joue la carte qui lui semble la plus importante et justifie son choix auprès des autres). Dans un deuxième temps, les participants de chaque table proposent des scénarios de développement. Ces scénarios sont ensuite synthétisés entre les tables, et la troisième étape consiste à formuler des actions possibles, qui sont débattues pour aboutir à une liste de pistes d'action permettant d'atteindre l'orientation souhaitée.

Organisation

Le jeu territorial implique généralement des acteurs (maires, agents d'établissements publics, etc.) qu'il est assez facile de mobiliser et de faire participer à des ateliers. Pour aller plus loin dans ces méthodes, et conformément à notre objectif d'étudier la demande écologique des citoyens, nous avons souhaité impliquer le grand public. Cela nous permettra d'appréhender les préférences des acteurs du territoire du canal au-delà des seuls acteurs de la concertation, mais surtout de suivre le processus de construction des préférences.

Cependant, la mobilisation des citoyens au-delà de ceux qui sont directement impliqués dans le canal est complexe. Il faut notamment recruter les participants à l'avance et s'assurer qu'ils viennent effectivement aux ateliers, obtenir une couverture médiatique suffisante pour les ateliers et offrir des récompenses. Ces difficultés limitent la taille de l'échantillon. Notre objectif initial était d'organiser deux ateliers avec trois tables de quatre à six personnes par atelier dans deux lieux géographiques différents mais complémentaires concernant les usages du canal : Sète et Aigues-Mortes. Les problématiques sont en effet très différentes entre la zone des étangs de l'Hérault et du port de Sète, point d'entrée et de sortie du fret fluvial (Sète), et celle de la Camargue gardoise, où les berges du canal sont moins aménagées et où le canal traverse des zones riches en biodiversité (Aigues-Mortes). Pour recruter les participants aux ateliers, l'équipe du projet a organisé plusieurs journées de recrutement sur les sites cibles afin de demander aux personnes dans les rues si elles souhaitaient participer aux ateliers. Un bref questionnaire a été utilisé pour recueillir des informations sur les caractéristiques socio-économiques des individus afin de déterminer la représentativité de l'échantillon, ainsi que leurs préférences concernant le moment de l'atelier.

Il a été difficile de mobiliser le grand public lors des deux premiers ateliers. Le premier a eu lieu à Sète le 10/06/23 (6 participants sur un objectif de 15) sans paiement. Le second atelier a eu lieu à Aigues-Mortes le 01/07/23 avec un panier cadeau gratuit (composé de produits bio et locaux) en plus de la collation déjà offerte pendant le jeu, afin d'augmenter les chances que le public accepte

de donner de son temps libre pour participer à cet atelier de recherche. Malgré cela, nous n'avons réussi à obtenir que 5 participants, ce qui nous a permis d'installer une table de jeu. Le troisième atelier, qui s'est déroulé principalement via la communication en ligne et l'office de tourisme, a eu lieu le 21/11/2023 avec 18 participants répartis en 3 tables. Les deux premières sessions ont donc servi de test pour la troisième, dont les résultats seront analysés ici.

Mise en œuvre

L'échelle de temps de l'étude prospective est 2050, date après laquelle la montée des eaux liée au changement climatique rend incertaine l'utilisation du canal pour le fret, voire son existence. Le rapport de synthèse réalisé en amont de la consultation ((Deketelaere-Hanna et Sandrin, 2020) donne un aperçu des principaux enjeux liés au canal, ce qui nous a permis d'identifier et de construire 24 fiches, regroupées en 6 thèmes, décrivant les dynamiques et les structures de l'espace du canal, autour des thèmes écologiques et paysagers (voir les fiches enjeux de notre cas d'étude en annexes de la partie 2). Chaque fiche est divisée en deux parties : une carte de la zone concernée par l'enjeu de la fiche ou une illustration technique expliquant l'enjeu (fiches 7, 12 à 15 et 22) et une explication détaillée de l'enjeu (cf. table 7).

Table 7 : Cartes thématiques utilisées dans la première phase du jeu, numérotées de 1 à 24. Les lettres entre parenthèses correspondent aux six paquets distribués par table.

Thèmes	Cartes
Changement climatique	1. Niveau de la mer (a), 2. débit de la rivière (b)
Biodiversité	3. Protection des espèces (c), 4. Protection des habitats et des paysages (d), 5. Qualité de l'eau et zones humides (e), 6. Préservation des cols (f)
Préservation des paysages	7. Taille du canal (a), 8. Tracé du canal et connexions (b)
Érosion des berges	9. État des berges (c), 10. Envasement du canal (d), 11. Disparition des limites du canal dans les étangs (e), 12. Technique de restauration des berges (f), 13. Gestion des sédiments de dragage (a)
Utilisations du canal	14. Fret : produits (b), 15. Fret : types de bateaux (c), 16. Tourisme : activités (d), 17. Tourisme : sites remarquables (e), 18. Les voyages (f), 19. Gestion des inondations (a), 20. L'irrigation (b), 21. La pêche (c)
Territoire du canal	22. Report modal du fret et adaptation du port de Sète (d), 23. Étangs (e), 24. Camargue (f)

En plus des données disponibles dans le rapport de synthèse, nous avons utilisé des sources complémentaires pour certaines cartes. Pour la carte 1, les terres qui devraient se trouver sous le niveau des inondations annuelles en 2050 ont été modélisées à l'aide de l'outil <https://coastal.climatecentral.org/> sur la base du Leading Consensus (IPCC 2021) pour la trajectoire actuelle des émissions mondiales de GES. La valeur de l'élévation du niveau de la mer est obtenue à partir des projections de la NASA (Total Sea Level 2050 relative to a 1995-2014 baseline, <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>) dans le cadre du SSP3-7.0. Cette valeur correspond aux projections médianes de l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale et régionale du 6e rapport d'évaluation du GIEC sur les projections du niveau de la mer. Pour la carte 2, la baisse de débit estimée est tirée du rapport de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (BRLi, 2022). Pour la carte 3, la carte présente le gradient de naturalité (Guetté et al., 2018). Pour la carte 4, la liste des zones protégées est issue de la base de données des zones protégées (PP, 2024). Pour la carte 8, les connexions entre cours d'eau au niveau national sont issues des données de Voies Navigables de France (VNF, 2024). Pour la carte 13, la dynamique sédimentaire dans les étangs est issue de (Castaings, 2012). Pour la carte 16, l'état des tronçons cyclables est basé sur les travaux des associations d'usagers (Daudibon, 2017). Pour la carte 17, le nombre de monuments historiques provient de la base de données du ministère de la Culture (MC, 2024). Pour la carte 19, les risques d'inondation dus aux précipitations sont issus de la base de données nationale des risques (MTC, 2024).

Les participants ont été répartis en groupes de six sur trois tables, avec un mélange de caractéristiques sociodémographiques, et un facilitateur externe à chaque table qui a expliqué comment l'atelier se déroulerait, en trois phases.

Au cours de la première phase, chaque participant reçoit un paquet de quatre cartes (voir répartition dans le tableau 7). Les six paquets de chaque table sont distribués au hasard aux participants. Au centre de la table se trouve un fond de carte représentant le territoire actuel du canal. Il y a ensuite deux tours de jeu, au cours desquels chaque participant choisit successivement, parmi toutes les cartes de sa main, celle qui semble correspondre à l'enjeu le plus important pour le territoire. Si aucun enjeu ne semble important, le participant peut ajouter un enjeu sur l'une des cartes vierges disponibles. Une fois la carte choisie, le participant justifie son choix auprès des autres participants et reporte sur la carte centrale la zone concernée par l'enjeu de la carte choisie, en utilisant le chiffre de son choix et en discutant avec les autres participants. En cas de désaccord, le participant dont c'est le tour a toujours le dernier mot. À l'issue des deux tours, tous les participants choisissent un titre pour la carte qui reflète le diagnostic des dynamiques et des enjeux actuels de la zone.

Lors de la deuxième phase, un nouveau fond de carte a été fixé au centre de la table, représentant cette fois le territoire actuel du canal en 2050, c'est-à-dire illustrant les zones affectées par l'élévation du niveau de la mer et exposées à un risque annuel d'inondation (correspondant à la fiche 1). Ceci reflète l'incertitude sur l'existence de la partie du canal située dans les étangs. Ensemble, les six participants ont imaginé le scénario d'évolution de la zone. A l'exception de l'élévation du niveau de la mer, les participants sont libres d'imaginer le scénario de leur choix, du plus catastrophique au plus optimiste, en passant par des scénarios intermédiaires, et de le représenter sur le fond de carte. Ils s'intéressent particulièrement à l'évolution des enjeux identifiés lors de la première phase. À l'issue de cette deuxième phase, les participants travaillent ensemble à l'élaboration d'un titre pour leur scénario. Ils doivent ensuite identifier entre une et trois actions pour réaliser ou contrecarrer le scénario qu'ils ont imaginé.

Dans la phase finale, les participants des trois tables sont réunis en assemblée et les scénarios de chaque table de la deuxième phase sont présentés à l'assemblée par l'un des participants de chaque table. Chaque table présente à son tour une des actions identifiées à la fin de la deuxième phase. Les différentes actions sont ensuite classées en fonction de leur popularité au sein de l'assemblée : priorité aux actions qui ont émergé dans plusieurs tables, puis en fonction du nombre de votes exprimés. Une liste d'actions pour l'avenir de la région est ainsi identifiée à l'issue des délibérations de cette troisième phase.

- Analyse statistique

L'échelle du nouveau paradigme écologique (NEP)

Dans la NEP, chaque proposition est liée à l'une des cinq facettes de la NEP : l'existence de limites à la croissance (items 1, 6 et 11), l'anti-anthropocentrisme (items 2, 7 et 12), la fragilité de l'équilibre de la nature (items 3, 8 et 13), le rejet de « l'exemptionnisme » humain (items 4, 9 et 14) et la possibilité d'une crise écologique (items 5, 10 et 15). La NEP est une échelle de mesure largement utilisée pour évaluer les attitudes environnementales des individus. Elle se compose de plusieurs dimensions qui cherchent à capturer les perceptions et les attitudes vis-à-vis de l'environnement. La Conscience de l'Interdépendance Planétaire (CIP) en est une composante clé, car elle met en lumière la compréhension des interrelations globales entre les systèmes écologiques, économiques et sociaux. Cette conscience est essentielle pour encourager des comportements et des politiques environnementales responsables et durables. Selon Fleury-Bahi et al. 2015, la CIP est une notion qui souligne l'idée que les individus perçoivent et reconnaissent l'interconnexion et l'interdépendance des systèmes naturels à l'échelle mondiale (Fleury-Bahi et

al., 2015). La CIP se révèle être un aspect crucial pour promouvoir une attitude écologique consciente et proactive.

Dans la NEP, les répondants sont invités à se positionner sur une échelle de Likert à cinq choix pour chaque proposition (fortement en désaccord, plutôt en désaccord, ne sait pas, plutôt en accord, fortement en accord) qui est ensuite traduite en un score de 1 à 5. Les énoncés sont rédigés soit dans le sens de la NEP (énoncés impairs), soit dans le sens contraire (énoncés pairs), ce qui nécessite de les recoder avant l'analyse afin que, pour le répondant, la moyenne calculée sur l'ensemble des énoncés donne un score élevé s'il y a un soutien aux différentes facettes de la NEP.

Avant de calculer le score de NEP (NEPS) à partir des réponses, nous devons vérifier que les réponses correspondent au modèle théorique proposé par (Dunlap et al., 2000), en particulier que les cinq facettes du NEP peuvent effectivement être reconstruites à partir des données. Pour ce faire, nous utilisons une analyse factorielle confirmatoire (package R *lavaan* (Rosseel, 2012)) qui teste la capacité des données à reconstruire une structure de variable latente, dans notre cas, la capacité de chaque groupe d'items à retrouver les cinq facettes auxquelles ils sont rattachés. Les items dont la participation à leur facette est supérieure au seuil de 0,37 sont retenus pour le calcul final du NEPS (Fleury-Bahi et al., 2015).

Analyse des préférences

L'échelle de Likert utilisée pour recueillir les préférences des participants concernant les usages du canal (importance pour eux-mêmes, pour le territoire actuel et pour le territoire futur) implique que la variable réponse à analyser est ordinale.

U_n l'utilité pour le répondant n , avec $V(Z_n)$ l'utilité systématique (Z_n étant un vecteur d'attributs du répondant) et ε_n l'utilité aléatoire, peut être exprimée comme suit (Eq. 1) :

$$U_n = V(Z_n) + \varepsilon_n \quad (\text{Eq. 1})$$

Les cinq réponses possibles (Pas du tout important, Pas important, Neutre, Important, Très important) signifient qu'il existe quatre seuils $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_{1234}, \lambda_5$ tels que la probabilité que le répondant n fasse le choix Y_n :

$$\begin{aligned}
P(Y_n = \text{Not important at all}) &= P(U_n \leq \lambda_1) = P(\epsilon_n \leq \lambda_1 - V_n) \\
P(Y_n = \text{Not important}) &= P(\lambda_1 < U_n \leq \lambda_2) = P(\lambda_1 - V_n < \epsilon_n \leq \lambda_2 - V_n) \\
P(Y_n = \text{Neutral}) &= P(\lambda_2 < U_n \leq \lambda_3) = P(\lambda_2 - V_n < \epsilon_n \leq \lambda_3 - V_n) \\
P(Y_n = \text{Important}) &= P(\lambda_3 < U_n \leq \lambda_4) = P(\lambda_3 - V_n < \epsilon_n \leq \lambda_4 - V_n) \\
P(Y_n = \text{Very important}) &= P(U_n > \lambda_4) = P(\epsilon_n > \lambda_4 - V_n)
\end{aligned}$$

En supposant une distribution logistique de l'utilité aléatoire, l'utilité peut donc être modélisée par un modèle logit ordonné ou un modèle de lien cumulatif (CLM) (Páez et Boisjoly, 2022).

$$\begin{aligned}
P(Y_n = \text{Not important at all}) &= \frac{e^{(\lambda_1 - V_n)/\sigma}}{1 + e^{(\lambda_1 - V_n)/\sigma}} \\
P(Y_n = \text{Not important}) &= \frac{e^{(\lambda_2 - V_n)/\sigma}}{1 + e^{(\lambda_2 - V_n)/\sigma}} - \frac{e^{(\lambda_1 - V_n)/\sigma}}{1 + e^{(\lambda_1 - V_n)/\sigma}} \\
P(Y_n = \text{Neutral}) &= \frac{e^{(\lambda_3 - V_n)/\sigma}}{1 + e^{(\lambda_3 - V_n)/\sigma}} - \frac{e^{(\lambda_2 - V_n)/\sigma}}{1 + e^{(\lambda_2 - V_n)/\sigma}} \\
P(Y_n = \text{Important}) &= \frac{e^{(\lambda_4 - V_n)/\sigma}}{1 + e^{(\lambda_4 - V_n)/\sigma}} - \frac{e^{(\lambda_3 - V_n)/\sigma}}{1 + e^{(\lambda_3 - V_n)/\sigma}} \\
P(Y_n = \text{Very important}) &= 1 - \sum_{k=\text{Not important at all}}^{\text{Important}} P(Y_n = k)
\end{aligned}$$

avec σ le paramètre d'échelle de la distribution logistique.

Nous avons construit un CLM avec l'échelle de Likert comme variable réponse et, comme variables explicatives, les six usages du canal (Promenades, Activités nautiques, Tourisme, Fret et Biodiversité), l'effet de l'atelier sur les usages (sous forme d'interaction), l'échelle (importance personnelle, pour le territoire actuel et pour le territoire futur) et le NEPS.

2.3.4 Résultats et discussions

- L'échelle du nouveau paradigme écologique (NEP)

Les résultats du NEP sont présentés en Table 8.

Table 8 : Résultats des scores de l'échelle du nouveau paradigme écologique (NEP). Les valeurs sont données en pourcentage après recodage des items pairs.

Articles	1	2	3	4	5	Moyenne	SD	Asymétrie
1. Nous approchons de la limite du nombre d'habitants de la terre peut soutenir	0.04	0.12	0.15	0.19	0.5	4.00	1.23	-0.97
2. L'homme a le droit de modifier l'environnement naturel pour s'adapter leurs besoins	0.08	0.04	0.04	0.5	0.35	4.00	1.13	-1.62
3. Lorsque l'homme interfère avec la nature elle produit souvent des résultats désastreux les conséquences	0.00	0.12	0.00	0.42	0.46	4.23	0.95	-1.41
4. L'ingéniosité humaine fera en sorte que nous ne rendez pas la terre invivable	0.08	0.50	0.15	0.12	0.15	2.77	1.24	0.75
5. Les humains abusent gravement l'environnement	0.04	0.04	0.00	0.35	0.58	4.38	0.98	-2.25
6. La terre est riche en ressources naturelles ressources si nous apprenons comment les développer	0.46	0.35	0.04	0.00	0.15	2.04	1.4	1.44
7. Les plantes et les animaux ont autant de le droit d'exister en tant qu'être humain	0.00	0.00	0.00	0.19	0.81	4.81	0.4	-1.66
8. L'équilibre de la nature est fort suffisamment pour faire face aux impacts des les nations industrielles modernes	0.08	0.08	0.04	0.42	0.38	3.96	1.22	-1.37
9. Malgré leurs capacités particulières, les humains sont toujours soumis aux lois de la nature	0.00	0.04	0.00	0.23	0.73	4.65	0.69	-2.59
10. La soi-disant "crise écologique" L'humanité a été confrontée à des défis de taille.	0.12	0.27	0.04	0.12	0.46	3.54	1.58	-0.41
11. La terre est comme un vaisseau spatial avec un espace et des ressources très limités	0.04	0.08	0.15	0.31	0.42	4.00	1.13	-1.08
12. Les humains sont censés régner sur le reste de la nature	0.04	0.15	0.12	0.15	0.54	4.00	1.3	-0.96
13. L'équilibre de la nature est très fragile et facilement perturbé	0.00	0.00	0.00	0.12	0.88	4.88	0.33	-2.56
14. L'homme finira par en apprendre suffisamment sur le fonctionnement de la nature pour pouvoir la contrôler.	0.08	0.35	0.04	0.31	0.23	3.27	1.37	-0.13
15. Si les choses continuent sur leur lancée, nous connaissons bientôt une catastrophe écologique majeure	0.00	0.00	0.00	0.35	0.65	4.65	0.49	-0.69

Si nous analysons les moyennes, nous pouvons noter que les moyennes des réponses varient, ce qui reflète des positionnements relativement marqués des participants au regard des items proposés :

- Items avec des moyennes élevées : Les items 7, 13, et 15 ont des moyennes supérieures à 4 et proche de 5. Ces choix d'affirmations reflètent probablement une préoccupation forte des participants pour la préservation des enjeux environnementaux en contexte de

changements globaux en mettant au centre la reconnaissance de la fragilité de la nature (item 13) ou la prise de conscience des risques écologiques majeurs (item 15).

- Items avec des moyennes faibles : les items 4, 6 et 14, qui se rapportent à une vision dominatrice de l'Homme sur la nature et qui fait référence à l'ingéniosité humaine pour contrôler la nature, ne sont pas choisis par les participants. Ces items représentent en effet ceux les plus éloignés de la vision de l'importance de considérer les relations entre Homme-Nature (Lundmark, 2007 ; Schleyer-Lindenmann et al., 2016). Cela peut refléter un manque de confiance dans les solutions purement humaines.

Si nous regardons les écarts types, et donc le niveau de consensus sur le choix des affirmations, nous observons que celui-ci varie entre les items, indiquant des différences dans le degré d'accord avec les affirmations :

- Faible SD (fort consensus) : Les items 3, 7, 9 et 15 sont ceux qui ont des SD les plus faibles ce qui montrent un consensus relativement fort sur le fait d'une part, que la situation écologique est préoccupante et que l'Homme en est responsable, et d'autre part, que la nature « transcendante » l'espèce humaine.
- Élevé SD (fortes divergences) : Les items 6, 10 et 14 sont ceux qui ont des SD les plus forts et qui reflètent une polarisation plus marquée sur la façon d'appréhender la notion de crise écologique et le rapport aux ressources naturelles et à leur exploitation.

Globalement, tous ces résultats traduisent une tendance générale à soutenir des valeurs plutôt « écocentriques » et tournées sur la prise de conscience écologique tout en étant moins en accord avec des visions anthropocentriques ou interventionnistes.

L'analyse factorielle confirmatoire a permis de sélectionner les six items (2, 4, 5, 11, 14 et 15) qui vérifiaient le cadre théorique de la NEP afin de calculer le NEPS des participants (Fig.15) avec une valeur moyenne de 3,85 [95% CIs 2,78, 4,92]. Comme dans la plupart des études, la Conscience de l'Interdépendance Planétaire (CIP) bénéficie d'un soutien général. Cette dernière met principalement en avant la reconnaissance des interconnexions mondiales entre les systèmes écologiques, économiques, et sociaux, et des comportements plus responsables : Un score NEP élevé, et donc une CIP forte, est souvent associé à une attitude proactive en matière d'environnement. Ce résultat confirme une adhésion forte des participants aux principes et valeurs écologiques.

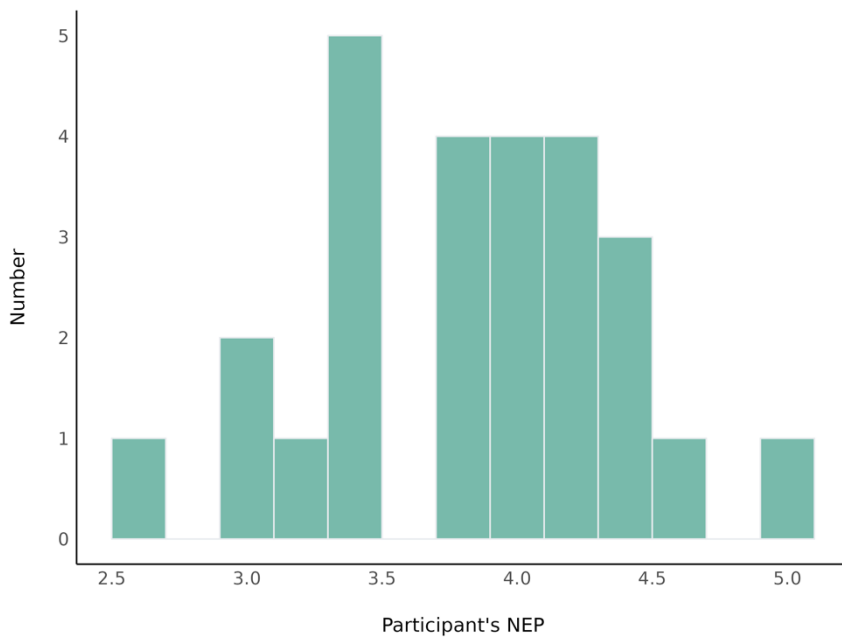


Figure 15 : Score du nouveau paradigme écologique (NEPS) des 18 participants, calculé à partir des éléments sélectionnés.

Lien avec les préférences possibles pour les choix des scénarios d'usage du canal :

Les scores élevés sur les items liés à la fragilité de la nature et aux limites écologiques suggèrent que les participants sont déjà sensibilisés aux enjeux environnementaux. Cela pourrait influencer leurs préférences en faveur de projets plutôt centrés sur la conservation de la nature et la restauration écologique du canal.

Les scores plus bas sur les items anthropo- et techno-centrés traduisent une certaine réticence des individus à voir des solutions technologiques ou humaines comme suffisantes pour répondre aux défis environnementaux. Cela pourrait indiquer que les participants préfèrent des approches basées sur la cohabitation avec la nature plutôt que sur son exploitation. Les scénarios d'usage du canal (tourisme et fret) devraient alors être moins privilégiés par les participants de l'atelier.

Les écarts-types modérés à élevés pour certains items montrent toutefois qu'il existe des divergences d'opinions au sein du groupe. Cela reflète une hétérogénéité des perspectives, probablement due à des facteurs comme l'expérience individuelle, les intérêts individuels et la culture environnementale des participants. Les échanges et débats qui sont favorisés dans le cadre des ateliers seront propices à faire émerger ces possibles divergences dont nous analysons par la suite comment elles se traduisent en préférences finales et en scénarios choisis collectivement à la fin des ateliers.

- L'atelier délibératif conduit avec le jeu de territoire

Table 9 : Choix des cartes pendant l'atelier. Le nombre de choix est pondéré par 2 pour le premier choix et par 1 pour le second choix, les choix des trois tableaux sont agrégés.

Carte	Thème	Nombre de choix (pondéré)
3	Biodiversité	6
17	Utilisations du canal	6
1	Changement climatique	4
11	Érosion des berges	4
19	Utilisations du canal	4
4	Biodiversité	3
5	Biodiversité	3
9	Érosion des berges	3
15	Utilisations du canal	3
16	Utilisations du canal	3
13	Érosion des berges	2
20	Utilisations du canal	2
23	Territoire du canal	2
2	Changement climatique	1
7	Préservation des paysages	1
8	Préservation des paysages	1
12	Érosion des berges	1
14	Utilisations du canal	1
18	Utilisations du canal	1
21	Utilisations du canal	1
24	Territoire du canal	1
6	Biodiversité	0
10	Érosion des berges	0

La Table 9 représente les choix des participants aux ateliers. Elle révèle le nombre de fois qu'une fiche est choisie par les individus.

Les résultats de la Table 9 révèlent que globalement les participants de l'atelier privilégient les enjeux relatifs à la biodiversité, aux effets du changement climatique et à l'utilisation du canal. Concernant les enjeux de biodiversité, les cartes choisies concernent principalement la protection des espèces et des espaces riches en biodiversité. Pour la thématique du changement climatique, il est davantage question des enjeux liés aux risques d'inondations et à la gestion de ceux-ci. Ce choix peut être expliqué par l'enjeu de l'atelier qui porte sur des choix collectifs de scénarios en lien avec l'érosion du canal causé par le changement climatique. Concernant l'utilisation du canal, différentes cartes sont choisies au sein de ce thème. Elles concernent principalement des usages plaisanciers ou d'usages des berges pour des activités récréatives du type promenades à pied ou à vélo. Parmi ces cartes, la reconnaissance de l'histoire et la richesse culturelle du site et du canal ressortent comme des éléments importants pour les participants.

Ces résultats sont en adéquation avec les résultats de la NEP discutés précédemment : les participants ont davantage une sensibilité environnementale et une vision « écocentrée » qui amènent à des choix de cartes et d'enjeux à prioriser qui sont davantage en lien avec la conservation des espaces et des espèces ainsi que du patrimoine naturel, plutôt qu'avec la volonté de l'exploiter (via du fret par exemple).

Dans les figures 16 et 17, les diagnostics et scénarios d'usages des territoires sont représentés après discussions des participants à chaque table. Ils représentent les choix de positionnement des cartes thématiques et des enjeux des participants de chaque table.

Ces différentes cartes révèlent la richesse des enjeux pris en compte dans les scénarios du canal du Rhône à Sète lorsqu'ils sont construits à plusieurs et avec une hétérogénéité des participants en provenance de milieux culturels, socio-économiques et géographiques diversifiés. Également, la pluralité des usages et des représentations qu'ont les participants de ce canal permettent un partage de connaissance plus riche et une appréhension du canal plus complexe en termes de prise en compte des enjeux et dynamiques qui le concernent (écologiques, paysagers, économiques, touristiques, etc.). Au regard des scénarios proposés dans la consultation, les résultats de l'atelier délibératif mené via l'utilisation du jeu des territoires permettent d'explorer d'autres scénarios qui combinent des usages plus variés mais davantage tournés sur la préservation des espaces et de la nature, et sur des usages récréatifs non invasifs pour l'environnement (promenades, plaisance, etc.).

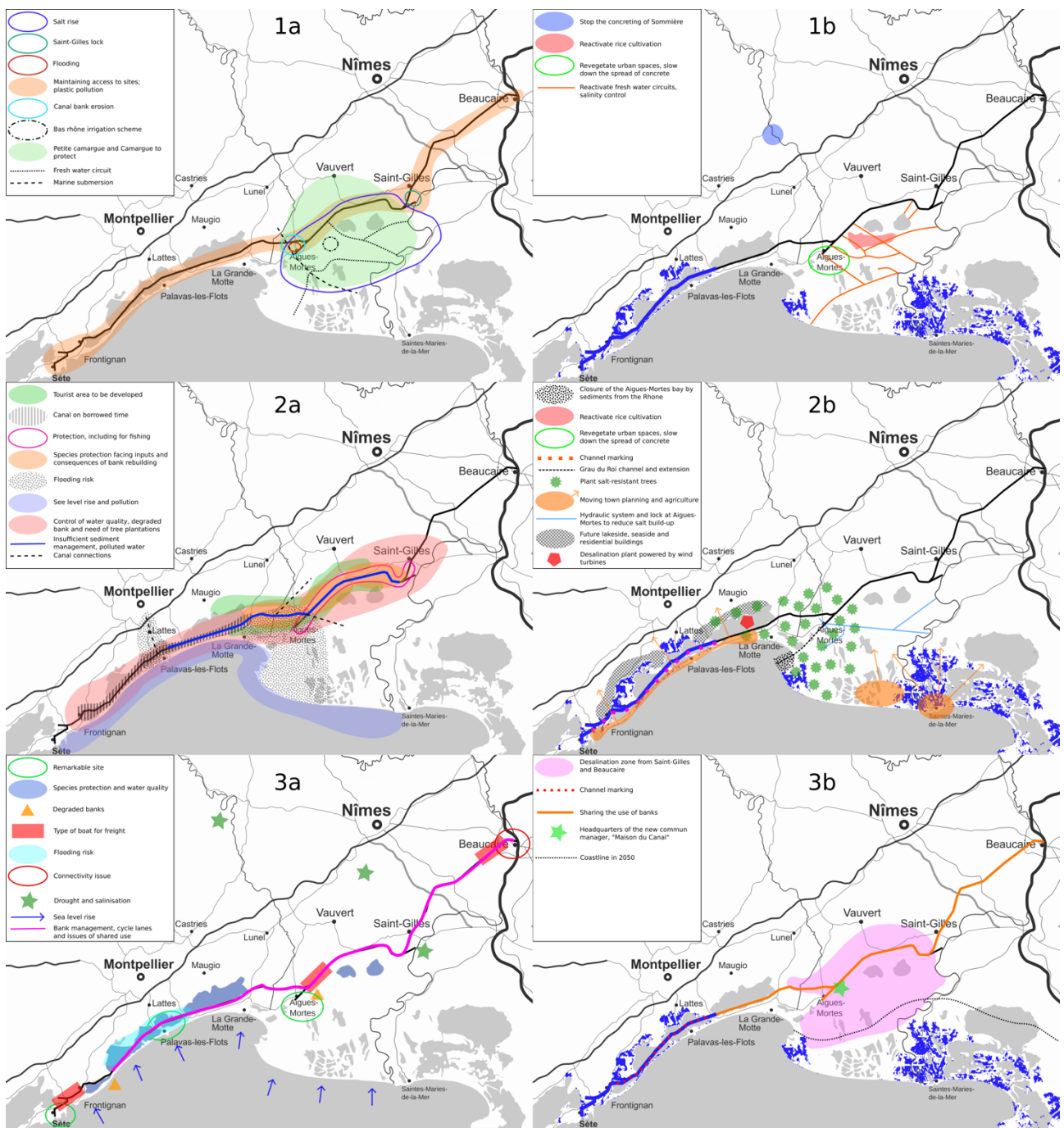
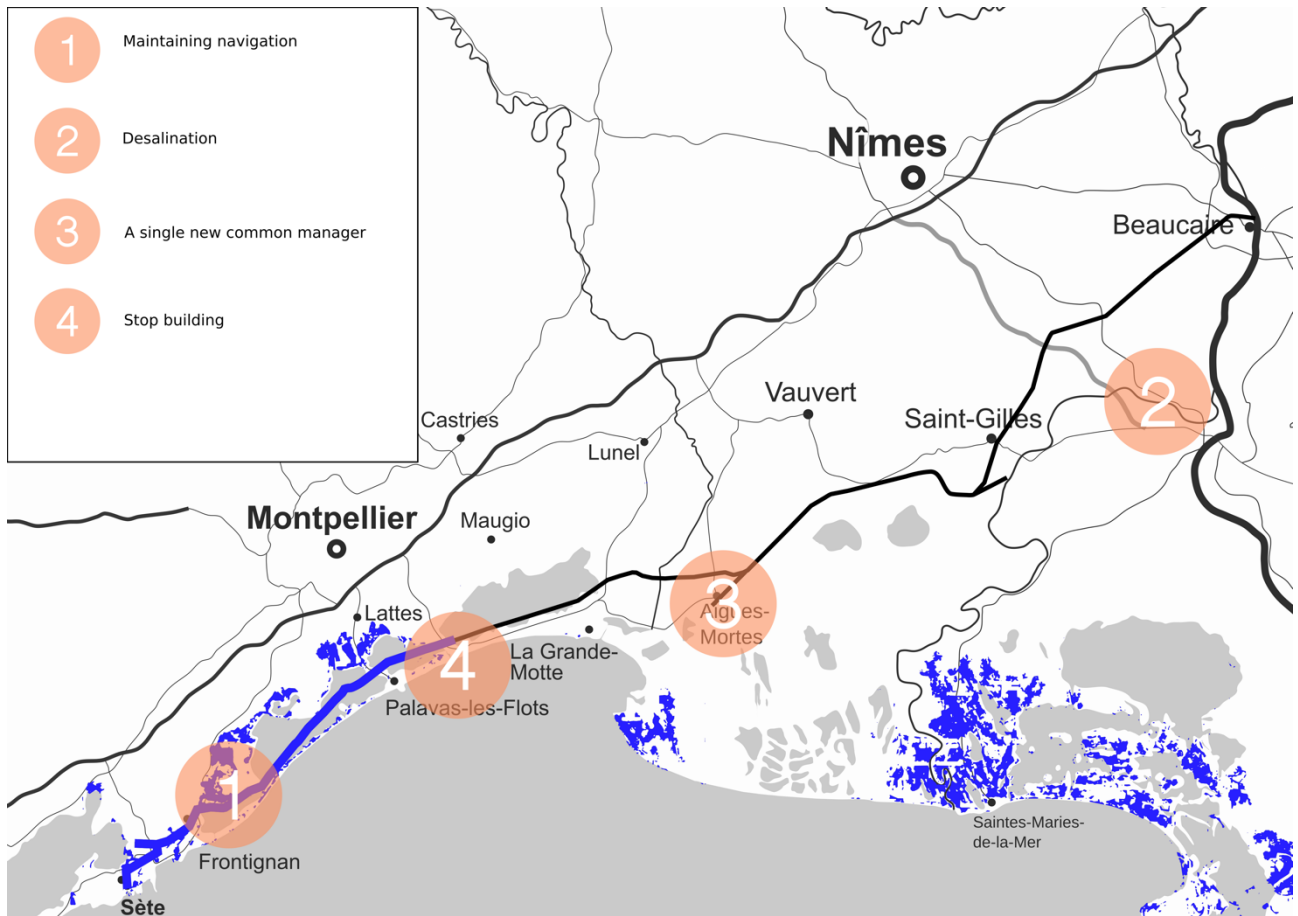


Figure 16 : Diagnostic de la dynamique du territoire du canal (1a : tableau 1, intitulé "Situation actuelle" ; 2a : Tableau 2, intitulé Observations et alertes ; 3a : Tableau 3, intitulé Défis) et des scénarios 2050 (1a : Tableau 1, intitulé "Prévention, entretien, sauvegarde" ; 2a : Tableau 2, intitulé "Solutions et prévention" ; 3a : Tableau 3, intitulé "L'avenir du canal en 2050").

Figure 17 : Carte des quatre actions issues de la troisième étape délibérative de l'atelier.



Les actions prioritaires discutées et retenues collectivement (figure 17) soulignent la prise de conscience des enjeux autour du maintien de la navigation sur le canal et de la désalinisation dans des objectifs de conservation des espaces agricoles et environnementaux en contexte de montée des eaux. Les enjeux de gouvernance sont également ressortis comme un point central dans la suite des actions à mettre en œuvre sur le canal au travers de l'identification d'un seul gestionnaire commun afin de favoriser son efficacité. Enfin, en contexte de changements globaux et avec les enjeux de montée des eaux, l'aménagement est ressorti comme un élément central à prendre en compte et notamment au travers de l'identification de zones où celui-ci serait stoppé.

- Changement de préférences

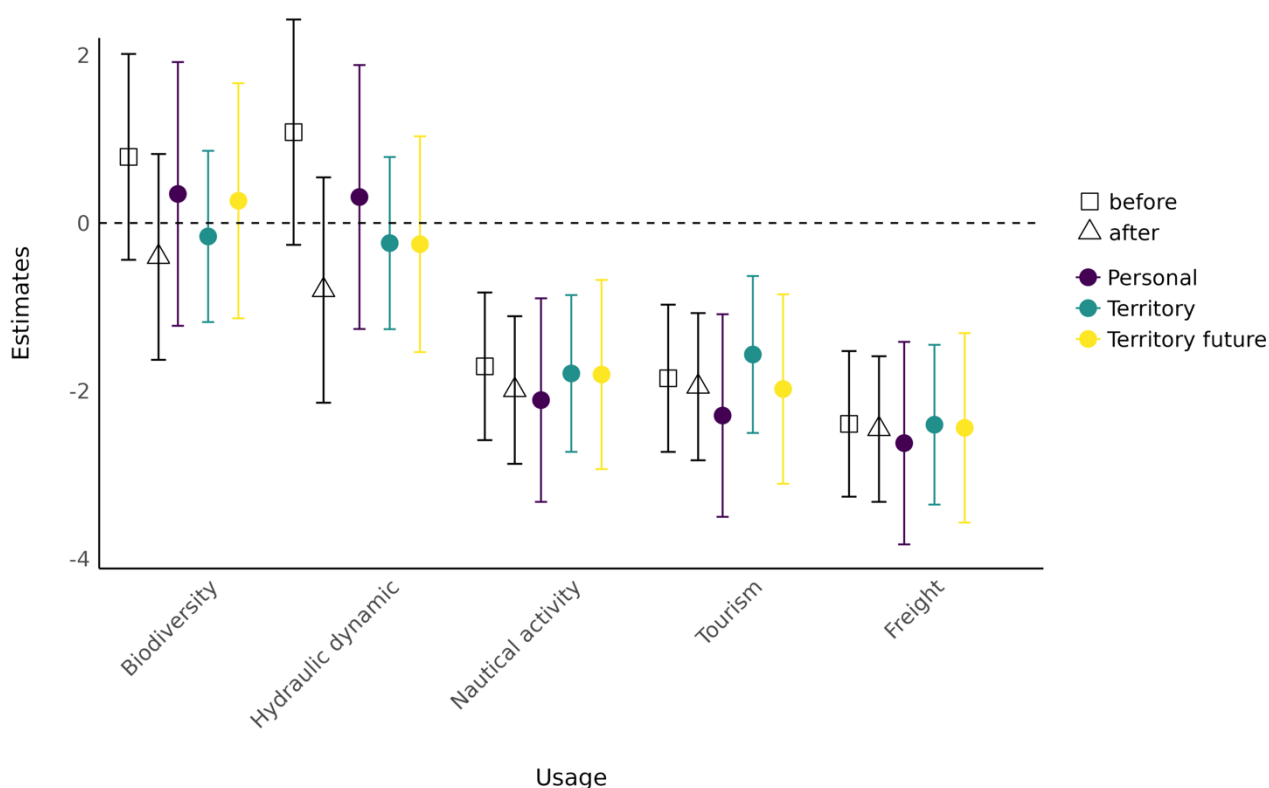


Figure 18 : Estimations du modèle de lien cumulatif pour chacun des principaux usages du canal et effets de l'atelier (avant après) et de l'échelle de réflexion (importance personnelle, importance actuelle pour le territoire, importance future pour le territoire). Les usages sont classés de gauche à droite en fonction de l'importance personnelle par rapport à l'usage pédestre.

La figure 18 montre les préférences des participants et leurs évolutions avant et après l'atelier délibératif. Les répondants ont une préférence marquée pour les usages du canal en tant qu'environnement pour la biodiversité, en tant qu'élément important dans la dynamique hydraulique du territoire et en tant que lieu de promenade, à la fois en termes de préférences personnelles et en termes d'importance perçue pour le territoire (Fig.18). Les activités nautiques (les seuils λ sont décalés de $-1,77 [-2,67, -0,87]$), le tourisme ($-1,91 [-2,81, -1,01]$) et le fret ($-2,47 [-3,37, -1,57]$) sont significativement moins préférés et moins bien perçus pour le territoire. Le score NEP des participants n'a pas d'incidence significative sur les préférences ($-0,37 [-0,76, 0,02]$).

Dans l'ensemble, la réflexion à l'échelle territoriale a entraîné une perception moindre de l'importance de chaque usage ($-0,45 [-0,86, -0,04]$), mais cette différence n'a pas été constatée dans la réflexion prospective sur les usages territoriaux futurs ($-0,04 [-0,47, 0,39]$).

Enfin, certaines préférences semblent avoir évolué suite à l'atelier, notamment en ce qui concerne l'importance de la biodiversité ($-1,23 [-2,43, 0,03]$) et celle de la dynamique hydraulique ($-1,94 [-$

3,25, -0,63]), qui ont toutes deux diminué de manière significative tout en restant plus élevées que les autres usages (Fig. 18).

Des analyses complémentaires sont encore en cours pour cette partie du projet.

3 CONCLUSION ET PERSPECTIVES (SCIENTIFIQUE ET OPERATIONNELLE)

L'objectif de la première partie du projet est de comprendre et de mesurer les arbitrages que les citoyens sont prêts à faire entre différents niveaux de prise en compte des enjeux écologiques et des variations de temps de transport dans leurs déplacements quotidiens. Nous avons choisi le tramway comme infrastructure linéaire de transport pour notre première analyse, car les projets de développement de tramway sont amenés à se développer à l'échelle nationale. En effet, ils concernent un transport collectif à énergie non carbonée et constituent de ce fait un enjeu particulièrement important en France dans le cadre de la Loi d'orientation des mobilités (LOM) de 2019. Nous avons choisi plus spécifiquement des projets d'extension de lignes de tramway.

L'enquête nationale de la première partie du projet, utilisant la méthode de l'expérience de choix discrets, a recueilli les préférences de 1094 répondants à travers la France, couvrant 570 communes autour de 17 agglomérations concernées par des projets d'extension de lignes de tramway. Réalisée par questionnaire en ligne et diffusée par un institut de sondage, l'enquête a été analysée avec deux modèles économétriques : un modèle logit mixte pour évaluer l'hétérogénéité des préférences individuelles, et un modèle de classes latentes pour évaluer les préférences selon des typologies des répondants. Le scénario proposé impliquait l'arrivée d'une nouvelle ligne de tramway sur une voie routière existante, sans nécessiter de nouvelles artificialisation de terrain. L'enquête évaluait la disposition des individus à augmenter leur temps de trajet quotidien selon quatre attributs : une augmentation de la couverture arborée sur les voies de tramway, l'accès ou non à une zone naturelle à proximité des voies, un attribut de biodiversité évalué selon la richesse et l'abondance des espèces d'oiseaux, et le biome relatif aux types d'espèces et à leurs habitats. Les participants choisissaient parmi des cartes combinant ces attributs et une augmentation du temps de transport (attribut de compromis).

Les résultats montrent que, dans l'ensemble, les individus ont une désutilité à passer plus de temps dans les transports lorsqu'il s'agit de leurs trajets réguliers quotidiens. Cependant, dans le cas d'une meilleure intégration paysagère du tramway et avec une possibilité d'usage de la nature le long des voies, les individus acceptent de passer plus de temps dans les transports. Les répondants qui ont un lien plus élevé avec la nature (évalué via l'utilisation de l'échelle d'inclusion de la nature en soi - INS) ont tendance à privilégier les attributs en lien avec la biodiversité. Enfin,

nous remarquons un effet du *framing*, c'est-à-dire de l'apport d'information sur l'état de dégradation de la biodiversité : les individus qui ont eu cette information acceptent de rallonger leur temps de transport si le tramway est intégré écologiquement et limite alors ses impacts sur la biodiversité. Globalement, les femmes et les plus jeunes acceptent davantage de perdre du temps dans les transports pour des raisons environnementales. Concernant les typologies de répondants, nous identifions quatre profils dans les préférences en partie différenciés par la composition sociodémographique (revenu, catégorie socio-professionnelle) de la population et par la relation des répondants avec la nature. Globalement, l'étude a permis d'obtenir un aperçu empirique de la mesure dans laquelle les individus peuvent attribuer des valeurs différentes au temps de trajet en fonction de leurs préférences environnementales et de la qualité environnementale de l'infrastructure évaluée.

La deuxième partie du projet mesure l'apport de la délibération collective dans la formation des préférences grâce au jeu de territoire qui consiste en un jeu de plateau. Appliquée à l'étude du cas du canal du Rhône à Sète, les résultats dont une partie doivent encore être analysés révèlent l'importance de la co-construction des préférences pour améliorer les connaissances des individus et choisir des scénarios de moindre impact écologique. Dans le cadre de la transition écologique et du déclin de la biodiversité, il existe une forte demande sociale pour une meilleure intégration des infrastructures de transport linéaire (ILT). Cette demande, bien qu'hétérogène, plaide pour une prise en compte accrue des préférences environnementales dans les projets de transport et la participation des citoyens dans la construction des scénarios d'aménagement future. La compréhension des compromis écologiques par les citoyens est cruciale pour orienter les politiques publiques et sensibiliser à l'importance des enjeux environnementaux. Lorsque la demande sociale est faible, l'éducation et la communication deviennent essentielles pour sensibiliser tous les acteurs concernés.

En termes de politiques publiques, la compréhension des compromis que les citoyens sont prêts à faire pour répondre à la demande environnementale, lorsqu'elle existe, est une information cruciale pour penser la transition écologique des territoires. La caractérisation de cette demande peut également appuyer le plaidoyer en faveur des enjeux écologiques dans le développement des ILT face aux autres composantes de l'intérêt public majeur qui légitiment ces projets. Dans les cas où cette demande sociale est faible, ou n'émerge que pour une partie de la population, des recommandations ciblées peuvent être faites en termes d'éducation et de communication pour sensibiliser à la fois les usagers et les non-usagers des ILT, ainsi que les porteurs de projets d'infrastructures.

Pour orienter de futures recherches, il serait pertinent d'explorer davantage les effets des concepts liés à l'« usage de la nature » (et à la perception humaine des paysages) par opposition à ceux associés à la « nature sauvage », c'est-à-dire à la protection de la biodiversité dans des

espaces peu ou pas modifiés par l'activité humaine. Une piste d'étude intéressante consisterait à examiner comment l'intégration d'usages humains et la création de paysages perçus comme « esthétiques » ou « agréables » peuvent influencer l'acceptabilité sociale des initiatives de restauration écologique, notamment dans les espaces verts associés aux ILTe. Ces travaux permettraient de mieux comprendre si et comment les préférences esthétiques et fonctionnelles des usagers favorisent l'adoption et le soutien de ces projets, tout en répondant aux objectifs de conservation de la biodiversité.

4 VALORISATION DES TRAVAUX

4.1 PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Chapitre d'ouvrage :

Vaissière A.C., Calvet C, Anougmar S., Bayramoglu B., Cantuarias-Villesuzanne C., David M., Tardieu L., Tuffery L., Roussel S. (2023). Caractériser la demande sociale pour la biodiversité et les services écosystémiques à l'aide des sciences économiques : le cas du tramway. *In* Bonin S., Infrastructures de transport créatives - mieux les intégrer aux écosystèmes, paysages et territoires, Collection Synthèses, Editions QUAE.

Articles en révision :

Rigal S., Tardieu L., Roussel S., Calvet C., Vaissière A.C. (2024). Rethinking travel time valuation in the light of environmental preferences. *Transport Policy* (IF 6,3).

Rigal S., Tardieu L., Roussel S., Vaissière A.C., Calvet C. (2024). The hidden face of low-carbon public transport policies: from biodiversity conservation to user preferences. *Ecological Economics* (IF 7).

Articles en cours de finalisation :

Rigal S., Vaissière A.C, Calvet C. The effect of deliberative approaches on the construction and evolution of pro-environmental preferences: a case study using the game of territories. Soumission prévue à *Ecological Economics* (IF 7).

Rigal S., Calvet C., Vaissière A.C. Une approche par le « jeu de territoire » pour révéler les visions collectives citoyennes de l'avenir du Canal du Rhône à Sète. Soumission prévue dans *Développement Durable et Territoires*.

4.2 CONFÉRENCES SCIENTIFIQUES

Calvet, C., Vaissière, AC. (2022). Using deliberative evaluation to assess social preferences for ecological and landscape characteristics of transportation infrastructures in France. 14th International Conference of the European Society for Ecological Economics (ESEE), June 14-17, 2022, Pise, Italie.

Calvet, C., Vaissière, AC. (2022). Analysis of the determinants of social demand as a lever to better take into account the ecological impacts of land use planning. International Conference on Ecological Sciences, SFE²-GFÖ-EEF, Nov. 21-25, 2022, Metz, France.

Calvet, C., Vaissière, AC. (2022). Présentation du projet PÉPITE, Poster, Colloque ITTECOP, 19/10/2022, La Défense, Paris, France.

Rigal, S., Calvet, C., Vaissière, AC. (2023). Étudier la demande sociale et ses déterminants pour mieux prendre en compte les impacts environnementaux de l'aménagement du territoire. 12ème Congrès de l'Association Française d'Économie Politique (AFEP), Crises et inégalités : Comment habiter le monde de demain ? 4-7 juillet 2023, Paris, France.

Rigal, S., Tardieu, L., Roussel, S., Calvet, C., Vaissière, AC. (2024). Who has time to worry about biodiversity? 10th International Degrowth Conference and the 15th Conference of the European Society for Ecological Economics (ESEE). June 18-21, 2024, Pontevedra, Spain.

Rigal, S., Tardieu, L., Roussel, S., Calvet, C., Vaissière, AC. (2024). How environmental preferences and individuals' socio-demographic characteristics influence travel time savings valuation? 11^e conférence annuelle de l'Association française des économistes de l'environnement et des ressources naturelles (FAERE), 5-6 septembre 2024 à Strasbourg, France.

4.3 SEMINAIRES

- Séminaire ESE (équipe TESS), Mars 2023
- Séminaire de recherche MRM, Mai 2024
- Séminaire TETIS, Février 2024

4.4 FORMATIONS

Présentation du projet et de la démarche scientifique (problématique, méthodes et résultats) auprès des étudiants ingénieurs et universitaires des formations suivantes :

- Ingénieur en 3^e année de la formation initiale AgroParisTech au sein de la Dominante d'Approfondissement « Gestion Environnementale des Écosystèmes et des Forêts Tropicales »
- Mastère Spécialisé AgroParisTech « Forêt, Nature, Société – Management International (FNS-MI) »

- Master 2 « Biodiversité, Écologie, Évolution (BEE) » au sein du parcours « Biodiversité végétale et Gestion des Écosystèmes Tropicaux (BIOGET) »
- Master 2 « Biodiversité et Environnement », Parcours « Sciences de la Conservation » de l'École Pratique des Hautes Études (EPHE)-PSL.

4.5 ACTIONS DE TRANSFERT DE CONNAISSANCE A DESTINATION DES GESTIONNAIRES ET USAGERS

- Site internet du projet : <https://pepitembiodiv.wordpress.com>
- 2 Articles de vulgarisation dans le journal régional du Midi Libre sur les ateliers délibératifs organisés à Aigues-Mortes, publiés le 26/11/2023 et le 10/07/2023 :

<https://www.midilibre.fr/2023/11/26/les-citoyens-ont-reflechi-sur-le-devenir-du-rhone-a-sete-11603458.php>

<https://www.midilibre.fr/2023/07/10/une-rencontre-sur-le-devenir-du-canal-du-rhone-11332018.php>



Les citoyens ont réfléchi sur le devenir du Rhône à Sète



Environnement, Aigues-Mortes

Publié le 26/11/2023 à 05:05

Une rencontre sur le devenir du canal du Rhône



Urbanisme, Aigues-Mortes

Publié le 10/07/2023 à 05:06

- Présentation des résultats dans des communautés de pratiques (CRERCO Occitanie), auprès des décideurs et acteurs du territoire (Office Français pour la Biodiversité, Région Occitanie).

5 LISTE DES ENCADRES, DES TABLES ET DES FIGURES

Encadré 1 : L'attribut de compromis : du temps ou de l'argent ?

Encadré 2. Définition et articulation entre services environnementaux et services écosystémiques

Figure 1a : cadre conceptuel initial du projet PÉPITE

Figure 1b : évolution du cadre conceptuel du projet PÉPITE

Figure 2 : Identification du compromis entre les services d'usage primaires de l'ILT et la fourniture des bénéfices écologiques

Figure 3 : Scénario d'extension de ligne de tramway proposé lors de l'enquête

Figure 4 : Présentation des 4 différents attributs (nombre d'espèces et abondance, type d'espèces, paysage et temps) présentés dans les cartes de choix de l'expérience

Figure 5 : Echelle d'inclusion de la nature en soi (INS) (Schultz, 2022)

Figure 6 : Distribution géographique du nombre de répondants par grandes villes enquêtées

Figure 7 : Répartition des communes et des personnes enquêtées le long du gradient de naturalité

Figure 8 : Estimations du modèle logit mixte et effet des interactions avec les variables explicatives sur les attributs de choix.

Figure 9 : Distributions conditionnelles et inconditionnelles des paramètres aléatoires.

Figure 10 : Résultats du modèle de classes latentes à 4 classes

Figure 11 : Probabilités relatives (Odds et odd ratio) pour les modèles linéaires généralisés sélectionnés avec des scores latents pour les 4 classes

Figure 12 : Comparaison des coûts d'opportunité obtenus suite à l'évaluation classique du temps de parcours (●) et à la prise en compte de l'hétérogénéité des préférences entre classes pour une intégration écologique du projet centrée sur le paysage (▲), l'usage de la nature (■), la biodiversité (+) et le biome périurbain (☒).

Figure 15 : Score du nouveau paradigme écologique (NEP) des 18 participants

Figure 16 : Diagnostic de la dynamique du territoire du canal

Figure 17 : Carte des quatre actions issues de la troisième étape délibérative de l'atelier.

Figure 18 : Estimations du modèle de lien cumulatif pour chacun des principaux usages du canal et effets de l'atelier (avant après) et de l'échelle de réflexion (importance personnelle, importance actuelle pour le territoire, importance future pour le territoire).

Table 1 : Description des attributs de l'expérience de choix (noms, description, niveaux et codage)

Table 2 : Caractéristiques sociodémographiques des répondants

Table 3 : Résultats détaillés du modèle logit mixte

Table 4 : Résultats de la volonté de passer plus de temps dans les transports

Table 5 : Critères d'adéquation du modèle des Classes Latentes

Table 6 : Scénarios à 10-15 ans pour l'avenir du canal, proposés dans le cadre de la consultation 2020.

Table 7 : Cartes thématiques utilisées dans la première phase du jeu, numérotées de 1 à 24.

Table 8 : Résultats de l'échelle du nouveau paradigme écologique.

Table 9 : Choix des cartes pendant l'atelier

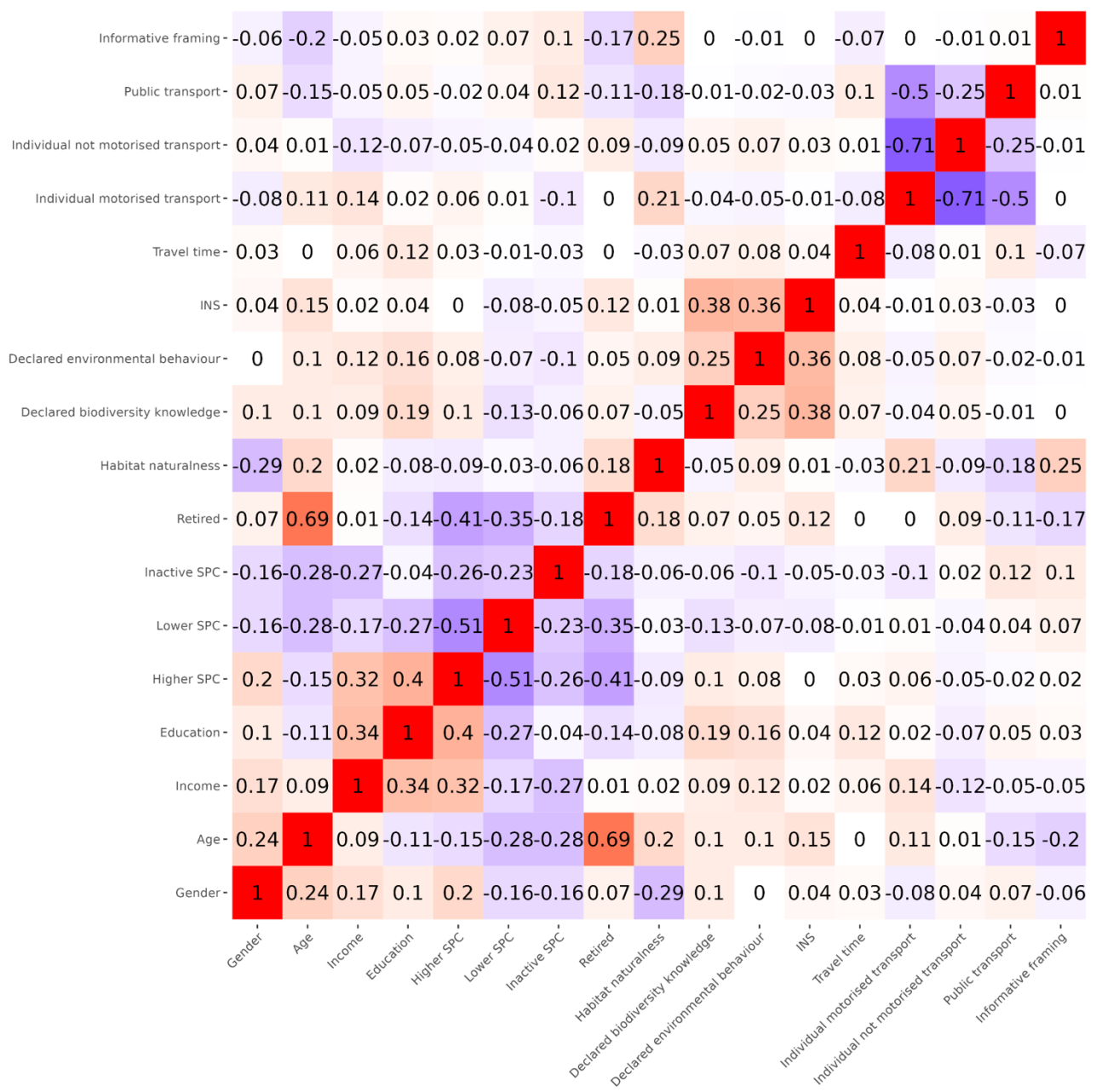
6 ANNEXES

6.1 ANNEXES des sections 2.1 et 2.2 (PARTIE 1 du projet)

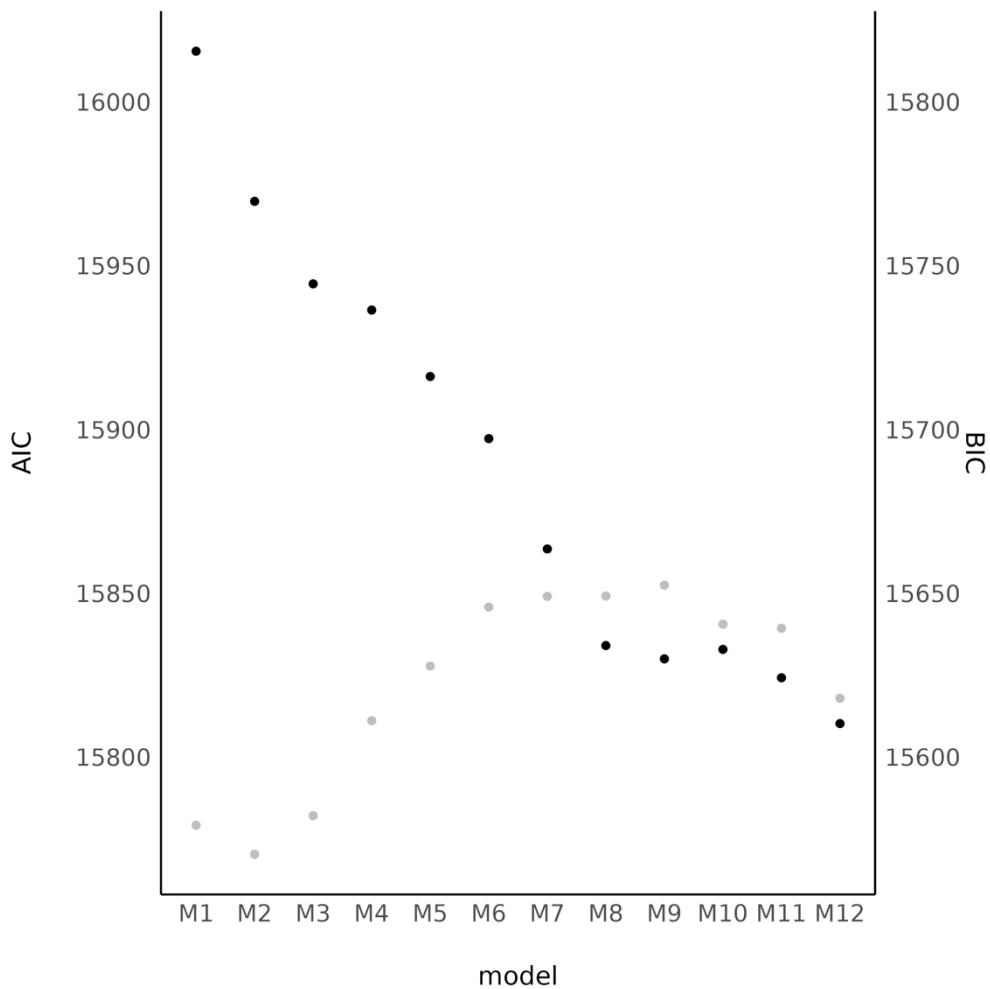
Sélection des variables

Nous utilisons initialement l'ensemble suivant de variables explicatives : sexe (femme, homme), âge (18-29, 30-44, 45-59, plus de 60 ans), revenu (déciles de la distribution des revenus), CSP (CSP supérieure, CSP inférieure, sans emploi, retraité), naturalité (très faible, faible, supérieure à la moyenne), durée du trajet quotidien (< 20 min, 21-30 min, 31-40 min, 41-60 min, 60-90 min, > 90 min), mode de transport principal (transports publics ou transports personnels non motorisés, transports personnels motorisés), échelle INS, comportements environnementaux (0 à 3 parmi les membres d'une association de protection de l'environnement). 90 min), le mode de transport principal (transports publics ou transport personnel non motorisé, transport personnel motorisé), l'échelle INS, les comportements environnementaux (0 à 3 parmi l'*appartenance à une association environnementale, la pratique d'activités de plein air et la prise en compte de critères environnementaux lors des achats*) et le framing (sans information sur le déclin de la biodiversité, avec information).

Pour éviter la multicolinéarité, nous sélectionnons ensuite les variables explicatives ayant un R^2 de Pearson < 0,4 (Fig. S1). Nous obtenons ainsi les variables suivantes : sexe, âge, revenu, CSP inférieure, CSP inactive, caractère naturel de l'habitat, comportement environnemental déclaré, échelle INS, temps de déplacement, transport individuel motorisé, framing informatif.



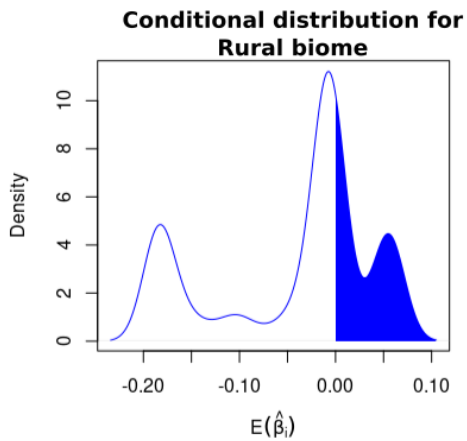
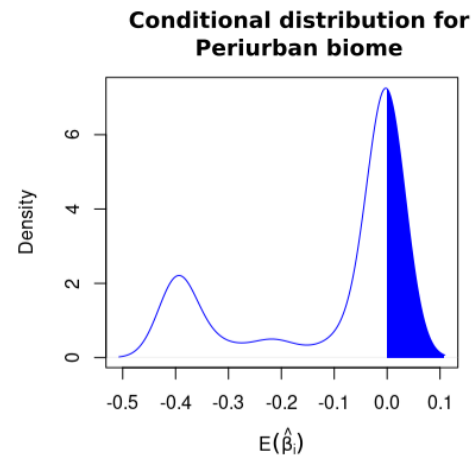
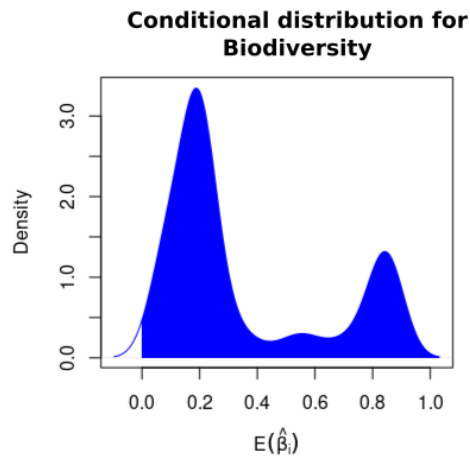
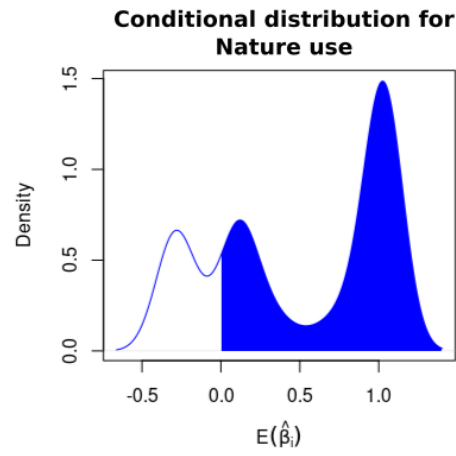
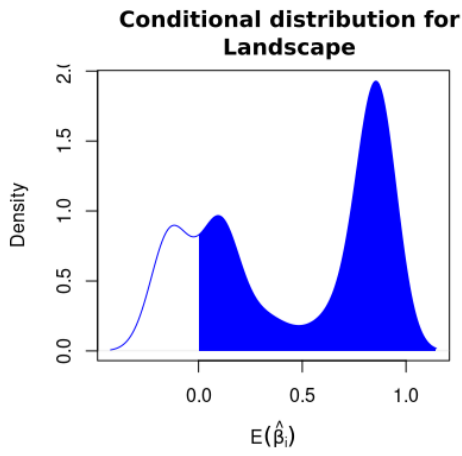
Matrice de corrélation de Pearson entre toutes les variables.



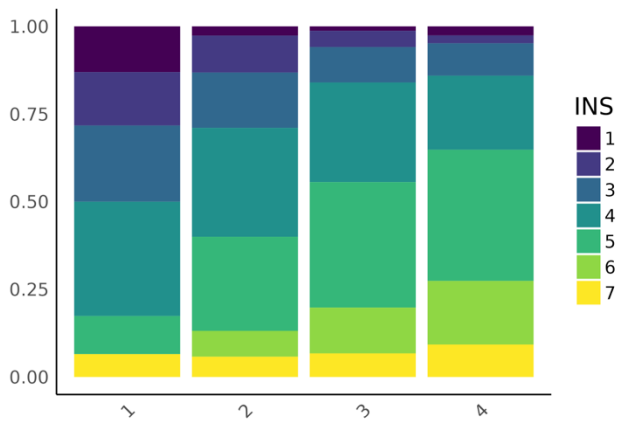
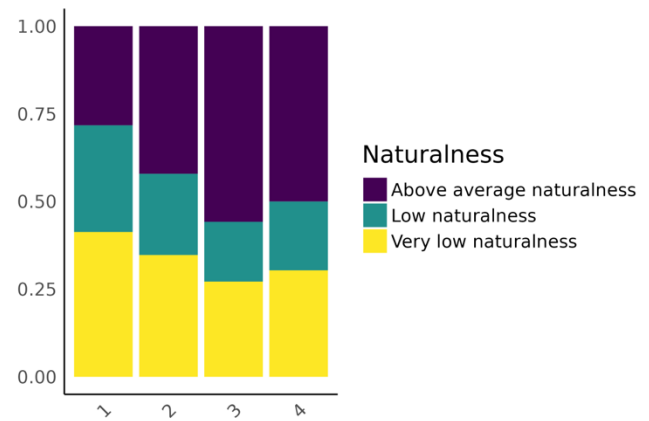
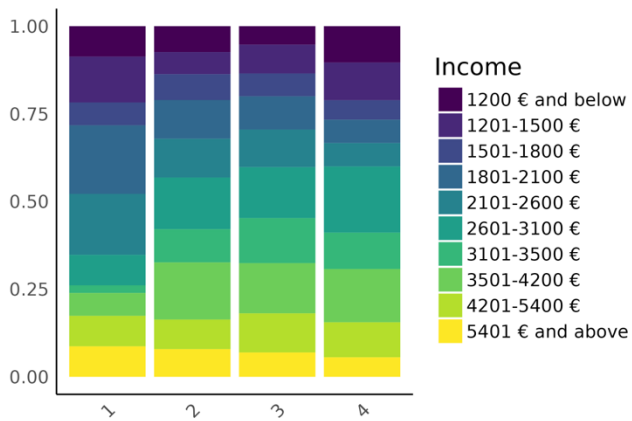
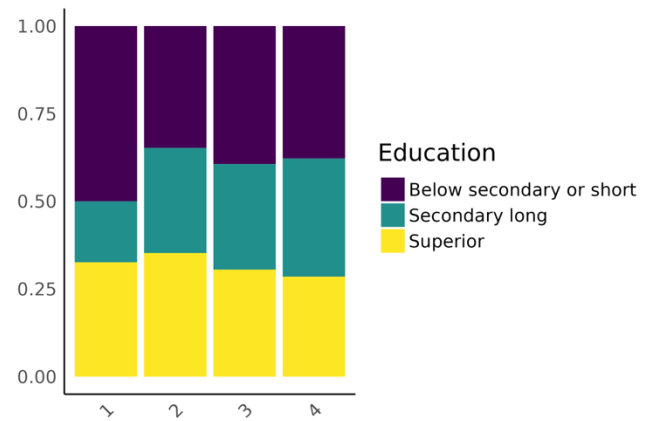
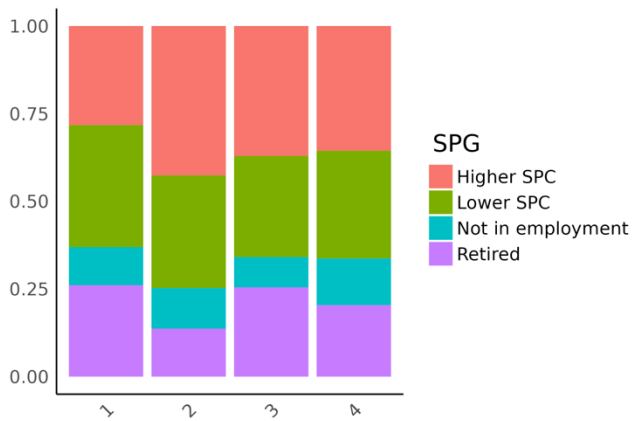
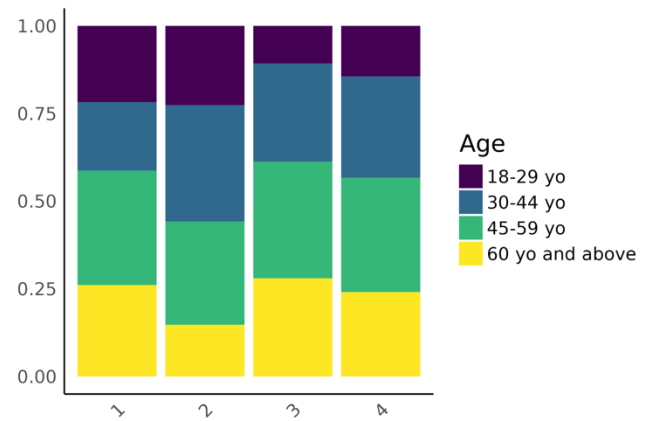
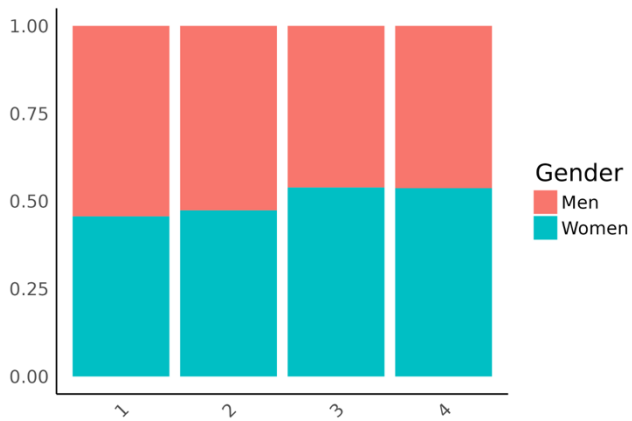
Sélection de modèles sur la base de l'AIC (points gris) et du BIC (points noirs)

Attributs\Variables	Genre	Age	Revenu	INS	Comportement environnemental	Connaissance de la biodiversité	Naturalité des communes	Trajets domicile-travail	Framing
Temps	M1-M12	M1-M12	M1-M7	M1-M6	M1-M4	M1-M2	M1-M5	M1-M3	M1
Paysage	M1-M12	M1-M12	M1-M7	M1-M6	M1-M4	M1-M3	M1	M1-M5	M1-M2
Usage de la nature	M1-M12	M1-M12	M1-M4	M1	M1-M2	M1-M3	M1-M6	M1-M11	M1-M5
Biodiversité	M1-M8, M10-	M1-M12	M1	M1-M2, M12	M1-M3	M1-M4	M1-M6	M1-M7	M1-M5
ASC	M1	M1-M2	M1-M7	M1-M12	M1-M3	M1-M4	M1-M5	M1-M10, M12	M1-M6, M10

Interactions entre les variables et les attributs dans chaque modèle (M1 à M12).



Distribution conditionnelle du paramètre de chaque attribut (Paysage, Utilisation de la nature, Biodiversité, Biome périurbain, Biome rural).



Composition socio-démographique des 4 classes latentes. INS: Inclusion of Nature in Self.

Objet	La réalité des limites à la croissance	Anti-anthropocentrisme	Fragilité de l'équilibre de la nature	Rejet de la l'exemplification	Possibilité d'une écocrisie
1	0.34				
6	-0.29				
11	0.78				
2		1.77			
7		0.10			
12		0.33			
3			NA		
8			NA		
13			NA		
4				0.72	
9				0.16	
14				0.86	
5					0.48
10					0.11
15					0.79

Estimations des charges factorielles de l'analyse factorielle confirmatoire.

6.2 ANNEXES de la section 2.3 (PARTIE 2 du projet)

Item	Reality of limits to growth	Anti-anthropocentrism	Fragility of nature's balance	Rejection of exemptionalism	Possibility of an ecocrisis
1	0.34				
6	-0.29				
11	0.78				
2		1.77			
7		0.10			
12		0.33			

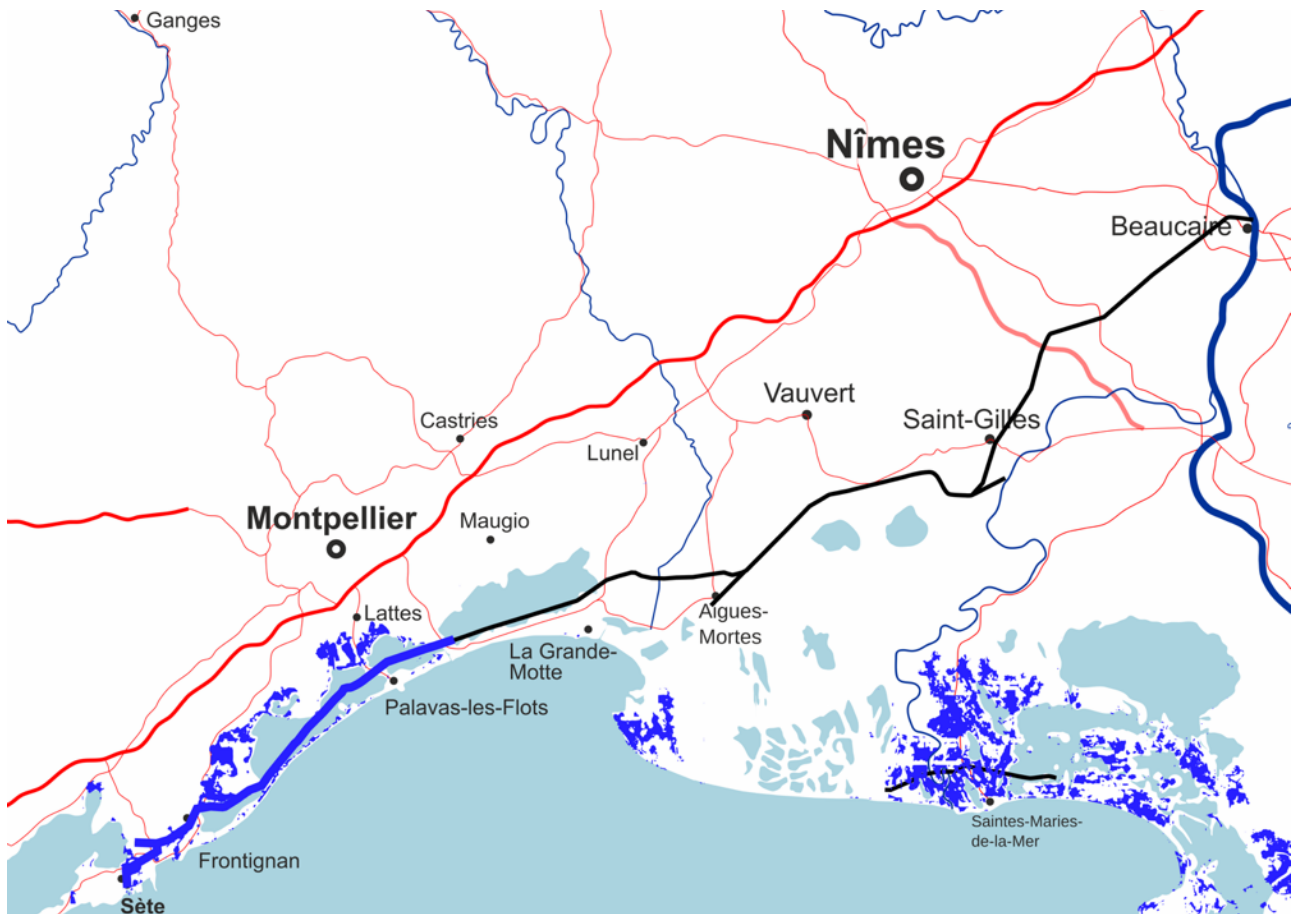
3			NA		
8			NA		
13			NA		
4				0.72	
9				0.16	
14				0.86	
5					0.48
10					0.11
15					0.79

Estimates of factor loadings from the confirmatory factor analysis.

Matériel jeu de territoire : les cartes enjeux

Changement climatique
 Biodiversité
 Préservation des paysages
 Érosion des berges
 Usage du canal
 Territoire du canal

Fiche 1 Niveau marin



En bleu : zones impactées par la montée du niveau marin et les inondations

La montée du niveau marin due au changement climatique devrait atteindre 23-30 cm en 2050 par rapport au niveau préindustriel. La Camargue et le lido, cordon littoral séparant les étangs de la mer sont particulièrement exposés et il est attendu que le trait de côte recule vers l'intérieur des terres. Les zones qui seront exposées au risque de submersion sont indiquées en bleu sur la carte. La montée du niveau marin va aussi renforcer l'impact des tempêtes sur les territoires littoraux et les infrastructures côtières.

Le canal sera impacté en priorité dans le tronçon entre Sète et Carnon, c'est-à-dire là où il n'est ni accolé au lido ni à l'intérieur des terres (portions en bleu sur la carte). Sa berge sud sera d'abord affecté par de projections de sable ou galets de mer lors des tempêtes. Le canal sera noyé avant 2150.

Fiche 2 Débit des fleuves

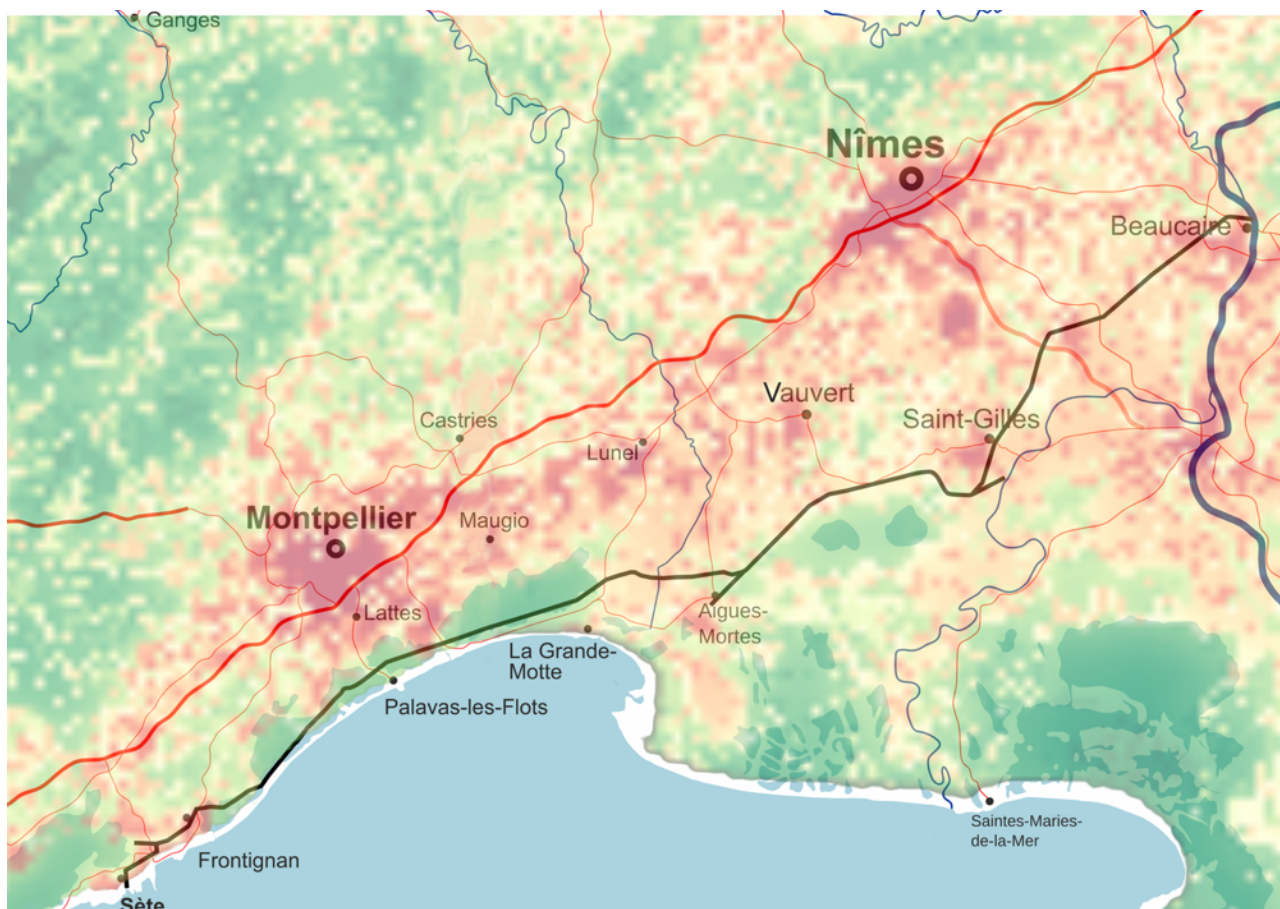


En bleu foncé : eau salée, en bleu clair : eau saumâtre, en noir eau douce.

Le canal dans sa section principale entre Saint-Gilles et le port de Sète, s'écoule sur 68 km avec un faible courant dominant est-ouest. Le canal est alimenté par une prise d'eau dans le Petit-Rhône par l'écluse de Saint-Gilles, puis par la mer et trois fleuves côtiers, le Lez à Palavas-les-Flots, le Vidourle à Marsillargues, le Vistre à Aigues-Mortes. Du fait du réchauffement climatique, les variations saisonnières des précipitations ainsi que l'augmentation de l'évaporation et de l'évapotranspiration vont impliquer une baisse du débit des fleuves en général (et en particulier un débit en baisse entre 10 % et 40 % pour le Rhône en 2050).

L'apport d'eau douce et de sédiments dans le canal via les fleuves sera diminuée avec la baisse du débit. On s'attend donc à une remontée vers l'intérieur des terres de la limite entre eau douce (noire sur la carte) / eau saumâtre (bleu clair sur la carte) (actuellement à Franqueveaux à 8 km du Petit-Rhône) et de la limite eau salée (bleu foncé sur la carte) / eau saumâtre (actuellement à Marsillargues). Avec un impact sur la faune et la flore, sur l'état des embarcations au mouillage et sur la salinité des sédiments de dragage.

Fiche 3 Protection des espèces



Carte du gradient de naturalité (forte en vert et faible en rouge) mesurant la qualité du territoire pour la biodiversité par l'intégrité biophysique de l'occupation du sol, la spontanéité des processus et les continuités spatiales.

Les berges naturelles et les roselières servent d'habitats à de nombreuses espèces notamment d'oiseaux. En contact avec la mer et les masses d'eau alentour, le canal, dont la construction a contribué au morcellement des lagunes, est ainsi partie intégrante d'un réseau hydraulique et d'un écosystème très importants, issus d'équilibres séculaires entre les milieux naturels et l'activité humaine. Le gradient de salinité va de l'eau de mer à l'eau douce. Des passes et des chenaux rythment son tracé, permettant les échanges d'eau, limitant le confinement des lagunes et facilitant la circulation des poissons.

Dans le contexte de déclin généralisé de la biodiversité, le canal joue un rôle important pour de nombreuses espèces. L'évolution de son emprise, de l'état et de la nature de ses berges, de son rôle dans le réseau hydraulique peut avoir un impact conséquent sur les espèces qui en dépendent. Plusieurs espèces de poissons et de mollusques sont présents dans les eaux du canal et le type d'espèce change le long du canal avec le gradient de salinité. Certaines espèces animales utilisent les berges naturelles pour leur reproduction et elles sont nombreuses à venir boire l'eau du canal.

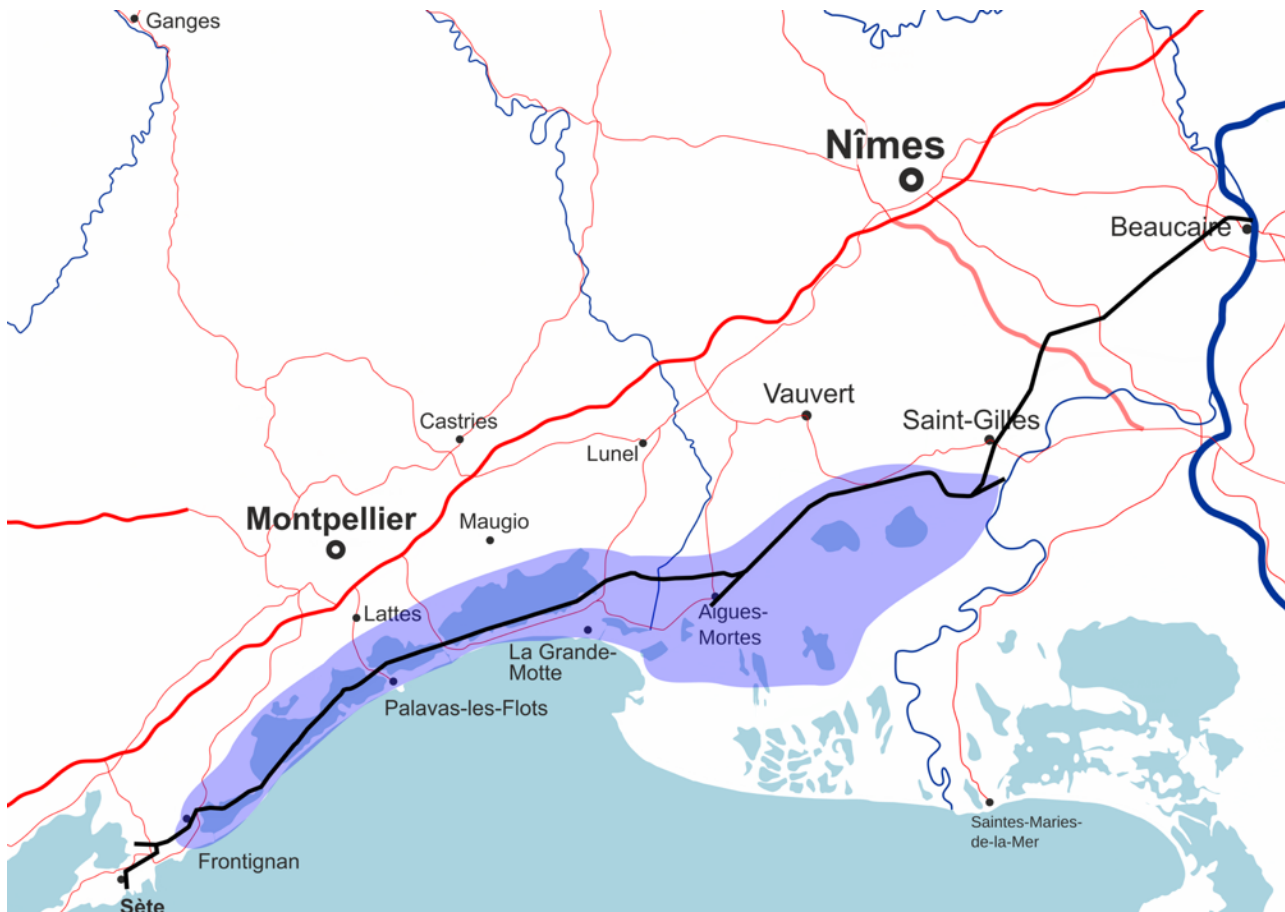
Fiche 4 Protection des espaces



En vert : zones bénéficiant d'au moins un statut de protection

Le canal traverse de nombreux milieux protégés indispensables pour la biodiversité (en vert sur la carte). Il croise ainsi sept sites Natura 2000 et une cinquantaine de zones d'intérêt écologique. Sur la partie gardoise, où se situent la majorité des zones d'intérêt écologique traversées, une moitié des berges est naturelle, ce qui permet une évolution naturelle des habitats. Sur la partie héraultaise, où son rôle de connexion entre étangs est central, 4 % seulement des berges sont naturelles et elles reculent inexorablement. Étant donné ses deux siècles d'ancienneté et son rôle dans le réseau hydraulique des territoires traversés, des équilibres se sont mis en place entre les différents milieux naturels et écosystèmes qu'il relie.

Fiche 5 Qualité de l'eau et zones humides



En bleu : réseau hydraulique dont fait partie le canal du Rhône à Sète

Dans sa partie gardoise, le canal traverse la Camargue, une zone humide d'importance internationale et il interagit avec le réseau de canaux de la Camargue. Les éventuelles pollutions qui l'affectent se transmettent ensuite à l'ensemble du réseau. Dans sa partie héraultaise, il traverse de la majorité des étangs dont la qualité est améliorée par les dragages de sédiments qui sont actuellement nécessaires pour le maintien de la profondeur d'eau pour la navigation des bateaux de fret et qui limitent l'envasement des étangs.

Fiche 6 Préservation des passes

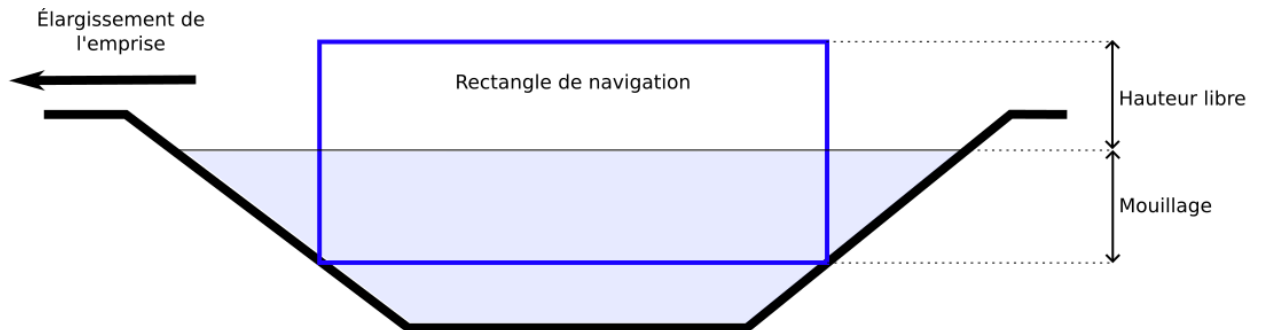


En rouge : échange entre les étangs et la mer (écoulement des sédiments et circulation des poissons)

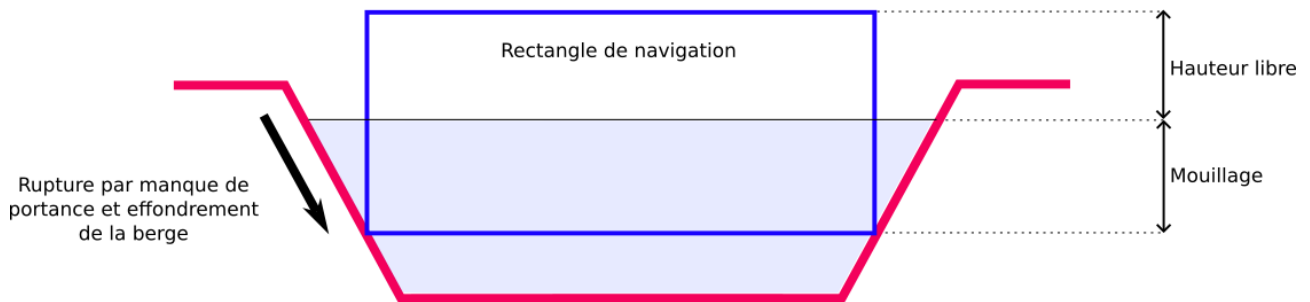
Le canal est entrecoupé de 24 passes et de chenaux qui permettent les échanges d'eau avec les milieux traversés (en particulier les étangs) et limitent ainsi le confinement des lagunes ce qui facilite la circulation des poissons.

Ces passes dont l'objectif est de permettre aux sédiments de s'écouler vers la mer, sont aussi et par conséquent les points d'entrée privilégiée des sédiments des étangs dans le canal, apports qui participent à son comblement. La forme de ces passes hydrauliques peut être optimisée afin de réduire les arrivées de sédiments tout en maintenant leur rôle pour la faune aquatique. De nouvelles passes hydrauliques entre le canal et la zone sud des étangs peuvent aussi être envisagées afin de faciliter au maximum la sortie naturelle des sédiments vers la mer.

Fiche 7 Emprise du canal



Creusement avec maintien de la pente du talus à 15% mais élargissement de l'emprise

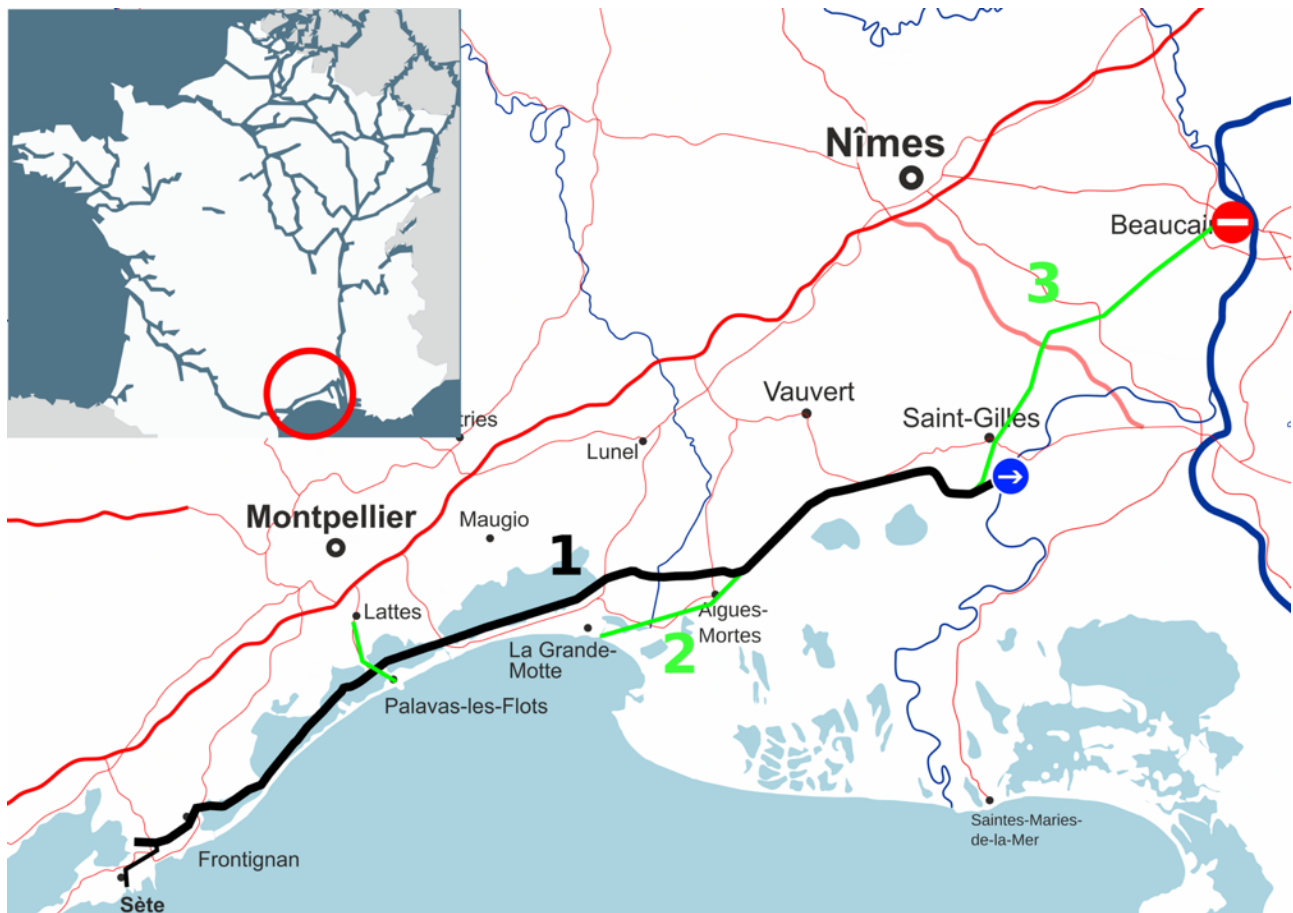


Creusement avec maintien de l'emprise du canal mais raidissement du talus

Un même rectangle de navigation peut être obtenu avec des largeurs de canal et des pentes de talus différentes qui vont avoir un impact sur l'emprise au sol ou sur la stabilité des berges.

Pour que la berge du canal soit stable, il faut une pente très douce (10 à 20%) entre le rectangle de navigation et le pied de la berge. Cela permet en effet d'éviter l'érosion qui sape le pied des berges sous l'effet du courant en sens inverse de la marche du bateau et du dragage. Pour un même rectangle de navigation (et donc un format de bateau donné), la stabilisation des berges là où le canal a été recreusé en profondeur sans aménager de pente douce, nécessiterait un élargissement du canal et donc plus d'emprise au sol. Une autre possibilité, en maintenant l'emprise actuelle serait de réduire le rectangle de navigation donc la taille des bateaux pouvant circuler afin de retrouver une pente plus douce et des berges plus stables. L'emprise requise sera finalement déterminée par la largeur du rectangle de navigation souhaité, par type de berge et par l'existence ou non d'une zone humide tampon, qui est intéressante au plan écologique.

Fiche 8 Tracé du canal et connexions

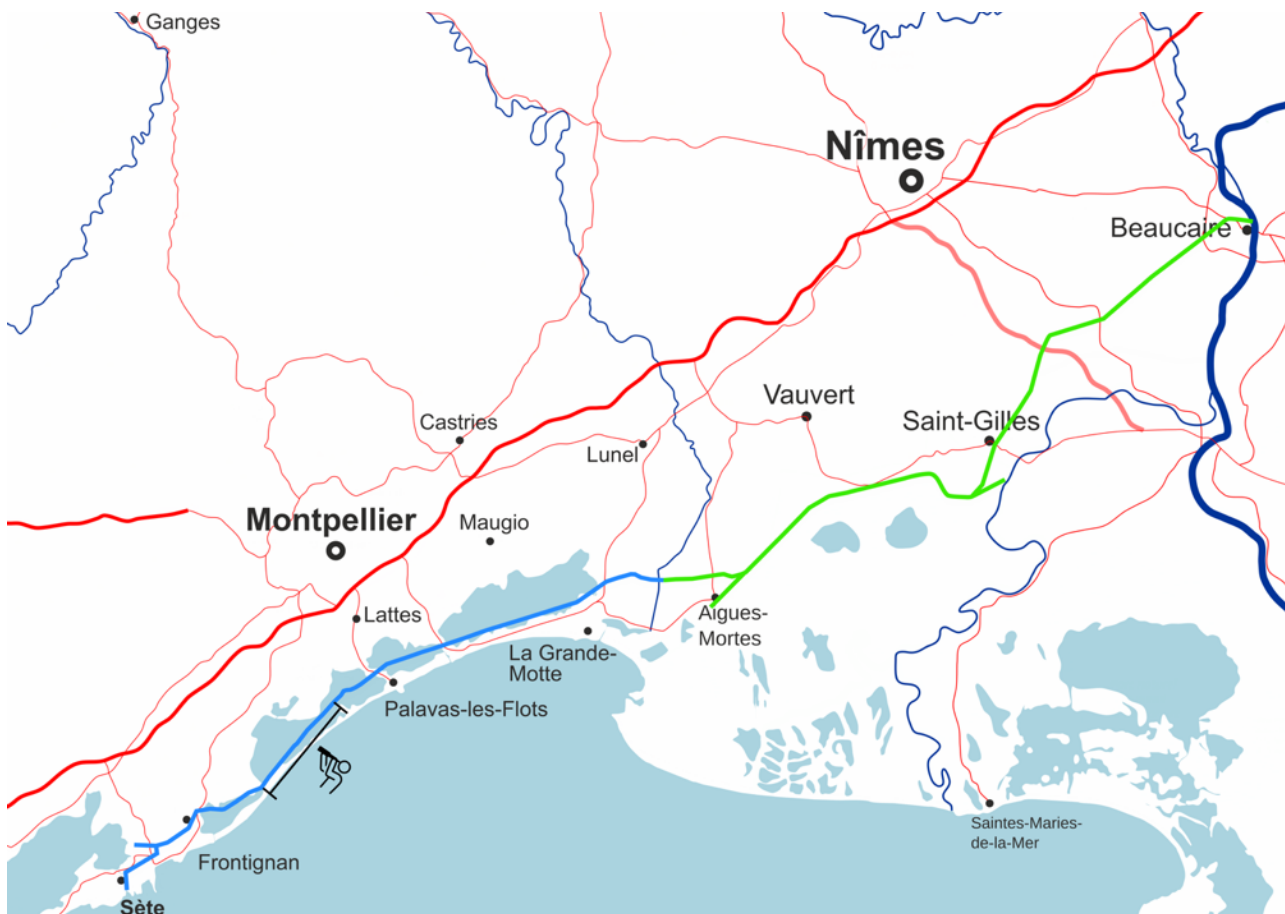


1 : section principale du canal (obligatoire pour le fret), 2 : déviation d'Aigues-Mortes et chenal maritime de la Grande Motte, 3 : déviation de Beaucaire (impasse réservée à la plaisance et au tourisme). Encart : position du canal dans le réseau fluvial en France (jonction entre le canal des deux mers vers Bordeaux et le Rhône vers le Nord).

Initialement long de 98 km entre le port de Sète et Beaucaire, sur le Rhône, la portion principale du canal du Rhône à Sète, accessible aux barges de fret., fait maintenant 68 km et s'arrête à Saint-Gilles d'où le Rhône peut ensuite être rejoint via le Petit-Rhône. En effet, en 1971, la création de l'écluse de Saint-Gilles permet de relier le canal au Petit-Rhône. La section Beaucaire Saint-Gilles est dédiée à la plaisance locale et devient un cul de sac, avec la fermeture de l'écluse de Beaucaire en 1973.

Le canal s'inscrit dans la continuité du canal du Midi-canal de Garonne qui relie Sète à Bordeaux. Des bras secondaires, vers le port fluvial d'Aigues-Mortes sont accessibles seulement aux bateaux à faible tirant d'eau.

Fiche 9 État des berges



En bleu : plus de 50 % des berges dégradées, en vert moins de 15 % des berges dégradées. Zone de surveillance de l'évolution naturelle des berges entre les Aresquiers et Maguelone.

Sur la partie gardoise, 11 % du linéaire total est en mauvais état. Sur la partie héraultaise, 66 % du linéaire des berges dans les étangs sont en mauvais état (et 8 % en état moyen).

Les berges sont dimensionnées pour des petits bateaux, à petite vitesse, et pour un mouillage de 2,0 m, elles ne pouvaient pas résister à des gros bateaux de plus de 1 000 t de charge, circulant à 4 à 6 km/h et générant des vagues de batillage violentes du fait de l'exiguïté du canal. Les berges naturelles reculent inexorablement.

La portion de berge entre Les Aresquiers et Maguelone constitue un site d'observation de l'évolution naturelle du trait de côte sans intervention humaine afin de pouvoir mesurer la progression naturelle de la mer sur ce linéaire.

Fiche 10 Envaselement du canal



En marron : principales sources d'apport de sédiments.

Les sédiments viennent de plusieurs sources :

- les sédiments du Petit-Rhône qui traversent l'écluse de Saint-Gilles,
- le recul des berges en partie gardoise et l'arrivée de sédiments des ruisseaux ou petits canaux qui sont connectés au canal,
- les apports des fleuves qui croisent le canal, essentiellement lors de leurs crues : le Vidourle, le Vistre et le Lez,
- les apports des étangs à travers les passes hydrauliques et les brèches ; ceux-ci sont alimentés en sédiments notamment par la Mosson dans l'étang de l'Arnel ou le Salaison dans les étangs de l'Or.

Globalement, le volume annuel de sédimentation est évalué à 74 000 m³ par an (dont 72 % en Hérault) entre 2006 et 2010 et à 99 000 m³ par an entre 2014 et 2016. Cette augmentation est principalement due à l'augmentation des apports depuis les étangs du fait de la porosité des berges nord du canal. Or la capacité de dragage est de 50 000 m³.

Fiche 11 Disparition des limites du canal dans les étangs



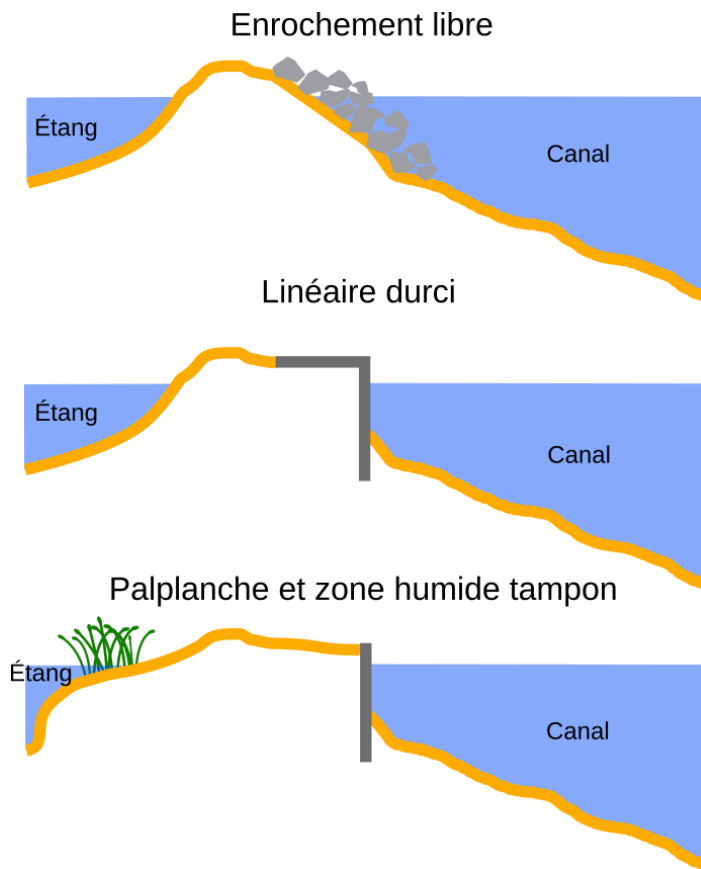
rouge : la zone la plus affectée par cette disparition



Disparition de la berge nord entre la période 1950-1965 et 2023 entre Les Aresquiers et Maguelone. Source IGN.

Les berges nord du canal s'érodent de façon accélérée dans les étangs. Cela entraîne une disparition des limites du canal en plus d'être le premier poste d'envasement du canal, processus qui s'accroît avec le temps. La zone affectée correspond à 29 km de berges nord dans les étangs. La circulation sur le canal est rendue plus difficile par la diminution du mouillage et, à terme, par la disparition du tracé du canal.

Fiche 12 Technique de restauration des berges



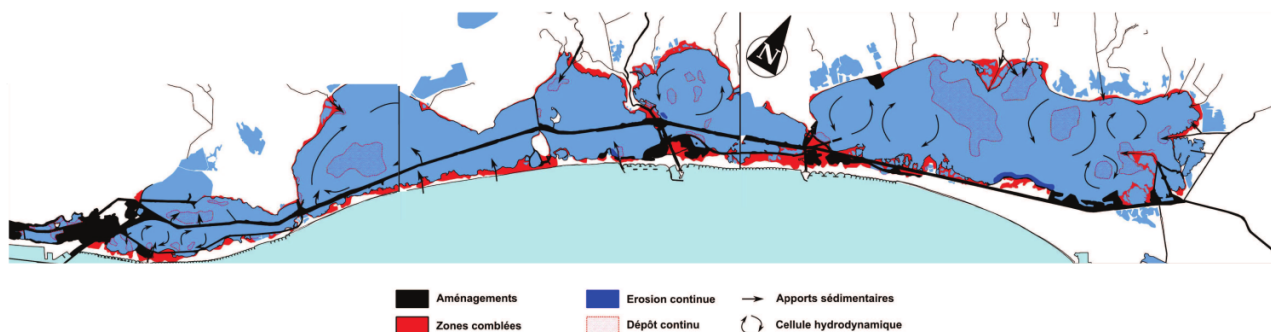
Sur la partie gardoise, une moitié des berges est naturelle, l'autre en enrochements libres. Il n'y a que 4 % du linéaire durci, en béton ou en palplanches. 11 % du linéaire total est en mauvais état. Sur la partie héraultaise, 50 % est en perré maçonné (15%) ou sec (35%), 38 % en enrochement libre, 5% en palplanches ou en béton et 4 % seulement naturel. 66 % du linéaire des berges dans les étangs sont en mauvais état (et 8 % en état moyen).

Pour les berges dégradées, il existe 3 techniques de restauration :

- Enrochements libres, solution très robuste quand on dispose de l'espace pour l'implanter avec une butée stable.
- Linéaire durci (béton ou palplanches).
palplanches habillées ou lagunées adossées à une zone humide tampon côté étang. La protection « douce » du rivage répond à son objectif de renaturation du site.

Les berges naturelles peuvent aussi être stabilisées par la plantation d'arbres (ex : saule) et de végétaux (ex : iris) pour diminuer l'érosion des berges. Au XVIIIe siècle, les arbres plantés le long du canal deviennent une source de revenu.

Fiche 13 Gestion des sédiments de dragage



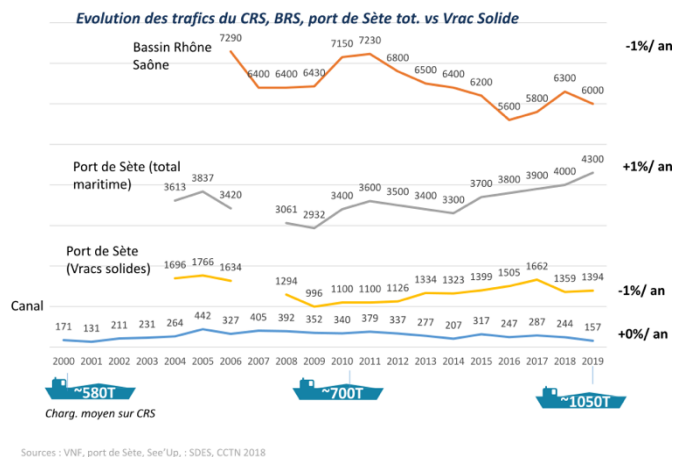
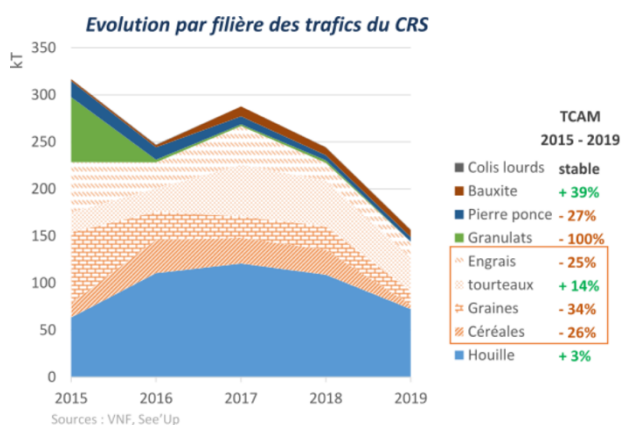
Il existe quatre moyens possibles pour évacuer les sédiments dragués :

- la remise en flottaison dans le lit. Cette technique, qui serait limitée à l'amont de l'écluse de Saint-Gilles avec rejet dans le lit du Petit-Rhône, concerne 10 000 m³/an ;
- le clapage en mer ;
- la réutilisation en sous-produit pour constituer la zone humide tampon, au nord de la berge nord dans la zone des étangs héraultais. Ceci permet de créer un milieu naturel, rapidement colonisé par la flore et la faune et qui absorbe l'énergie des vagues lors des tempêtes de secteur nord sur les étangs. Si c'est accepté, la réutilisation pour constituer une berme large, au sud de la berge sud également dans les étangs voire aussi le long de berges en partie gardoise, permettant d'aménager une voie de chantier VNF bien distincte d'une véloroute, sécurisée et aménagée ;
- la valorisation à des fins agricoles, routières, de comblement de carrières ou autres.

Les sédiments ont récemment été classifiés comme déchets ce qui a rebuté bénéficiaires potentiels. Un essai consistant à utiliser des sédiments, y compris salés, pour compenser l'érosion et améliorer les terres locales argilo-calcaires basiques et peu filtrantes est en cours et concerne 16 000 m³ de sédiments.

Le clapage en mer des sédiments permet le clapage total maximum de 175 000 m³ par an jusqu'au 3 juin 2024, chiffres compatibles avec le besoin exprimé d'un volume total de dragage de 1 150 000 m³ sur dix ans, dont 65 000 m³ maximum clapés en mer par an et 40 000 m³ les années sans vidange de la fosse de Frontignan. Les sédiments actuellement clapés ont un niveau de contamination métallique ou organique faible.

Fiche 14 Le fret : produits transportés



Evolution du fret et des principales marchandises sur le canal du Rhône à Sète

Le trafic fluvial est passé de 171 000 t en 2000 à plus de 440 000 t en 2005. Puis il est redescendu à 260 000 t en moyenne de 2016 à 2018.

Le trafic a atteint son maximum en 2005 et en 2011, période de difficultés pour le port concurrent de Marseille qui a regagné en attractivité depuis 2012. Pour le trafic futur, une hypothèse haute nécessitant des travaux d'ampleur pour augmenter les gabarits de bateaux est de l'ordre de 500 000 t.

Le trafic est de plus en plus déséquilibré le tonnage descendant ne représente que 16 % du total en 2019 (50 % pour être à l'équilibre) pénalisant les bateliers confrontés à un taux élevé de voyages à vide (40 %, supérieur à la moyenne nationale de 30 %).

Il s'agit quasi exclusivement de vracs liquides et solides. Le vrac liquide comprend essentiellement des produits pétroliers et dans une moindre mesure des engrais liquides. Les vracs solides comprennent à la descente des céréales, à la remontée des engrais et des tourteaux ainsi que du charbon pour les usines de silicium. La filière colis lourds pourrait être renforcée. Des niches commerciales se sont récemment développées comme le clinker, constituant du ciment, transporté en vrac depuis la Turquie. Ce trafic devrait davantage faire usage du fer que du fluvial. Les trafics passés de matériaux de carrières ont disparu, à l'exception de la pierre-ponce.

Fiche 15 Le fret : type de bateaux



En 1937, le trafic était le même qu'en 2018, soit 260 000 t, mais il était alors réparti sur 2 600 bateaux, portant chacun en moyenne 100 t. En 2008, la charge moyenne était de 700 t. En 2018, elle est de 1 100 t sur 230 bateaux. La charge moyenne transportée par bateau a donc considérablement augmenté en parallèle de l'augmentation des gabarits.

Si la largeur maximale des bateaux reste à 9,50 m avec un tirant d'eau admissible de 2,50 m, ce qui est la situation actuelle, ce scénario, probablement récessif en matière de fret.

Si le tirant d'eau est limité à 1,80 m, le trafic est réduit aux colis lourds, au fret de niche sur des bateaux peu profonds et au petit tourisme fluvial, à l'instar de la péniche-hôtel actuelle.

Si le canal n'offre qu'un tirant d'eau de 1 m, c'est-à-dire peu ou prou celui des étangs qui le bordent, seuls les bateaux de plaisance et ceux de promenade de faible tirant d'eau peuvent passer.

Fiche 16 Le tourisme : activités



En orange : portions cyclables difficiles, inexistantes ou contournements.

Le canal est le lieu d'activités touristiques diverse comme la plaisance, la marche, le cyclotourisme, l'œnotourisme, l'aviron ou le kayak. Les utilisateurs viennent à la fois des territoires bordant le canal ainsi que d'autres régions voire du nord de l'Europe.

La plaisance se fait via des petits bateaux sans permis (une centaine de bateaux habitables sans permis sont disponibles en location le long du canal), notamment à partir d'Aigues-Mortes. Une dizaine de bateaux-promenade, six péniches-hôtels circulent aussi sur le canal. Au total, il y a environ 800 anneaux pour les plaisanciers le long du canal répartis entre les ports de plaisance, les haltes nautiques et les bases de location.

Au-delà de l'infrastructure navigable en elle-même, les berges sont aussi utilisées pour le tourisme fluvestre, alliant les activités sur l'eau et sur les berges. Le canal se situe au croisement de deux itinéraires cyclables européens (Méditerranée à vélo et ViaRhôna) dont la continuité est garantie par des contournements sur des routes à faible trafic, ce qui appelle amélioration. En effet, lorsque seule la rive sud est disponible, elle est utilisée pour les besoins de maintenance du canal, avec le transfert et le stockage des sédiments dragués. Cette berge sud est souvent difficile d'accès pour les cyclistes ou les randonneurs, ce qui n'empêche pas de nombreux VTT de l'emprunter, soulevant des questions de sécurité lors des travaux de maintenance. Dans la partie gardoise, comme les deux berges sont en bon état, une convention de superposition d'affectation permet de sécuriser le passage de la véloroute même lors des travaux. Le développement du cyclotourisme nécessiterait que les berges soient accessibles et reliées par des pistes cyclables aux communes alentour.

Fiche 17 Le tourisme : sites remarquables



Principaux monuments nationaux autour du canal

Le canal passe à proximité de nombreux sites et monuments historiques classés comme l'ancienne cathédrale de Maguelone, l'Église Saint-Paul de Frontignan, le Phare du Mont-Saint-Clair à Sète, la cité d'Argues-Mortes, le château d'Espeyran à Saint-Gilles. Au total ce sont près de 20 sites classés aux monuments historiques dans le Gard, sans compter les 55 monuments historiques de Beaucaire, et 20 dans l'Hérault qui se situent dans les communes riveraines du canal. Le développement de la signalétique et la construction de pistes cyclables et piétonnes perpendiculaires au canal apparaissent nécessaires pour que les passagers des bateaux faisant escale aux haltes bien aménagées puissent découvrir les localités proches.

Fiche 18 Les déplacements

Le canal peut servir pour les déplacements de personnes. C'est déjà le cas pour le tourisme et Aigues-Mortes utilise déjà une navette fluviale pour traverser le bassin de la ville et étudie la mise en place d'une navette pour le report d'une partie du transport routier. C'est une option qui peut être envisagée notamment lorsque le rail ne dessert pas certaines localités.

Ce fût d'ailleurs une des utilisations principales du canal du Midi avant l'essor des trains et elle ne nécessite pas une forte profondeur d'eau (le canal du Midi a une profondeur moyenne de 1,4 m contre plus de 2 pour le canal du Rhône à Sète. Les nombreux canaux secondaires auxquels le canal est relié en particulier dans le Gard, peuvent permettre une desserte fine.

Le transport public régulier par voie fluviale reste encore à développer en s'inspirant des exemples existant comme sur le lac Léman.

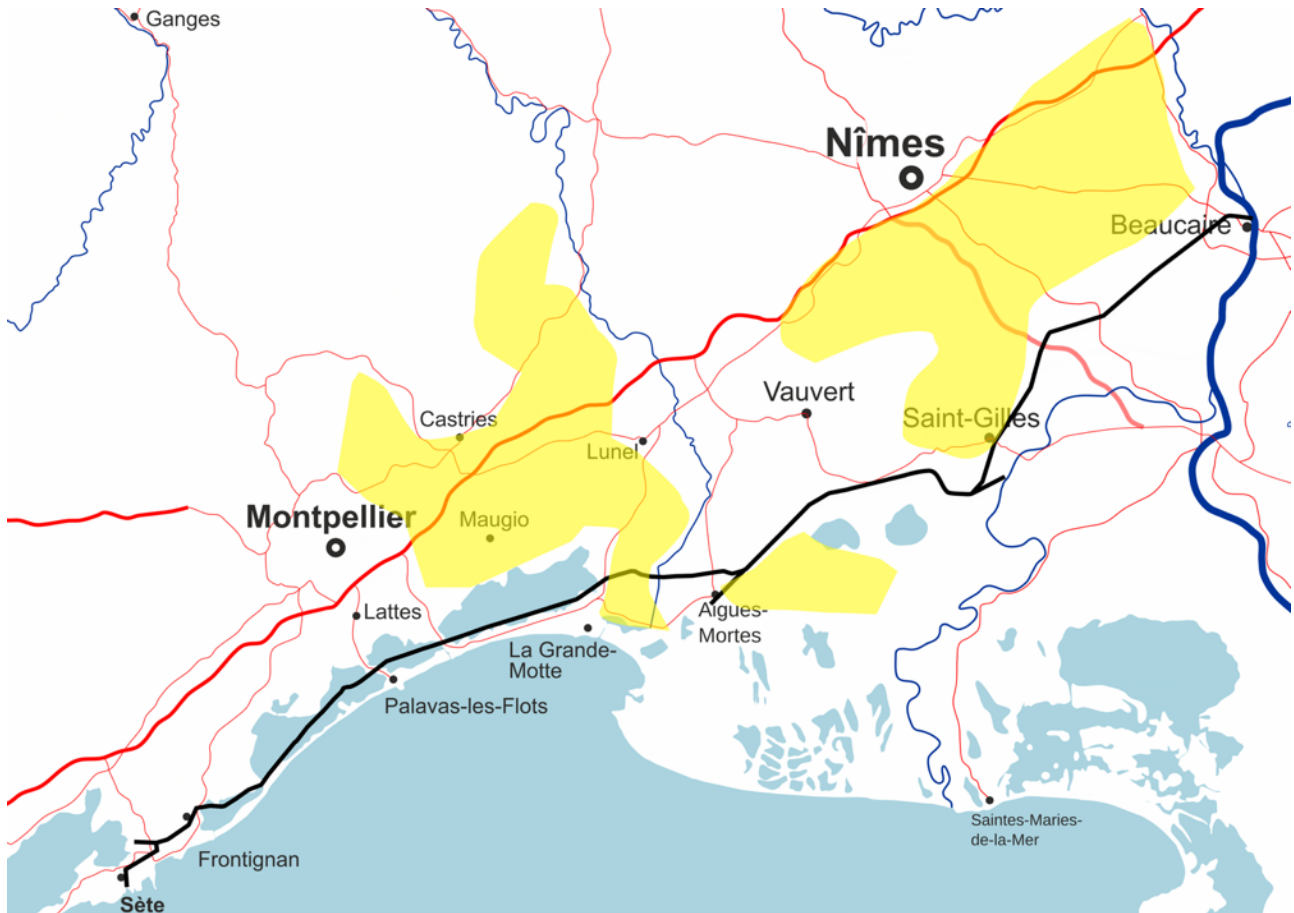
Fiche 19 Gestion des inondations



En bleu : zones soumises au risque d'inondation.

Le canal sert d'exutoire lors des crues des principaux fleuves qui y sont connectés comme le Vidourle entre Aigues-Mortes et la Grande Motte, le Vistre entre Nîmes et Aigues-Mortes et le Lez entre Lattes et Palavas-les-Flots. Il permet donc de prévenir de potentielles inondations des terrains riverains lors des remontées de niveau de ces fleuves.

Fiche 20 Irrigation



En jaune : principales zones d'irrigation

Longeant le canal du Rhône à Sète différents canaux sont utilisés pour l'irrigation. Le plus grand est le canal du Bas-Rhône Languedoc qui transporte l'eau du Rhône jusqu'à Maugio et à la station de pompage de Montpellier sans pour autant être directement relié au canal du Rhône à Sète. A l'inverse, de nombreux canaux annexe y sont reliés.








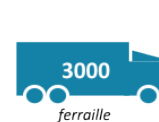
Fiche 21 Pêche



Principaux lieux de pêches depuis les berges ou en bateaux sur les canaux annexes.

De l'extrémité du canal à Sète au canal des Capettes entre Aigues-Mortes et Saint-Gilles, le canal est utilisé pour la pêche depuis ses berges. De plus, le canal est aussi traditionnellement emprunté par les petits pêcheurs en mer (pêcheurs « aux petits métiers ») pour aller sur les lagunes héraultaises et vers la mer.

Fiche 22 Report modal du fret et adaptation du port de Sète

 <i>Houille, engrais</i>		<ul style="list-style-type: none"> ▀ Houille, engrais, bauxite, tourteaux se maintiennent sur Sète en s'appuyant sur la route ou le ferroviaire
 <i>Graine, diester</i>		<ul style="list-style-type: none"> ▀ Les flux à potentiel sont captés par Marseille : nouveaux trafics de houille (+100 kT), pierre ponce (30 kT), ou par les ports du NE (50 kT de tourteaux) ▀ L'éventuel repeneur de Saipol redéveloppe la trituration avec de la graine française en s'appuyant sur le fer et la route → Diester + graines
 <i>clinker</i>		<ul style="list-style-type: none"> ▀ Le clinker poursuit son développement en s'appuyant exclusivement sur le ferroviaire pour les sites de la vallée du Rhône ▀ Les conteneurs n'ont pas la possibilité de prendre le fluvial depuis FOS
 <i>ferraille</i>		<ul style="list-style-type: none"> ▀ Les filières potentielles ne se développent pas : biomasse, minéraux, sel ▀ De nouvelles filières se développent sur Sète avec fer + route : ferraille

Perspectives fluviales sur CRS novembre 2020

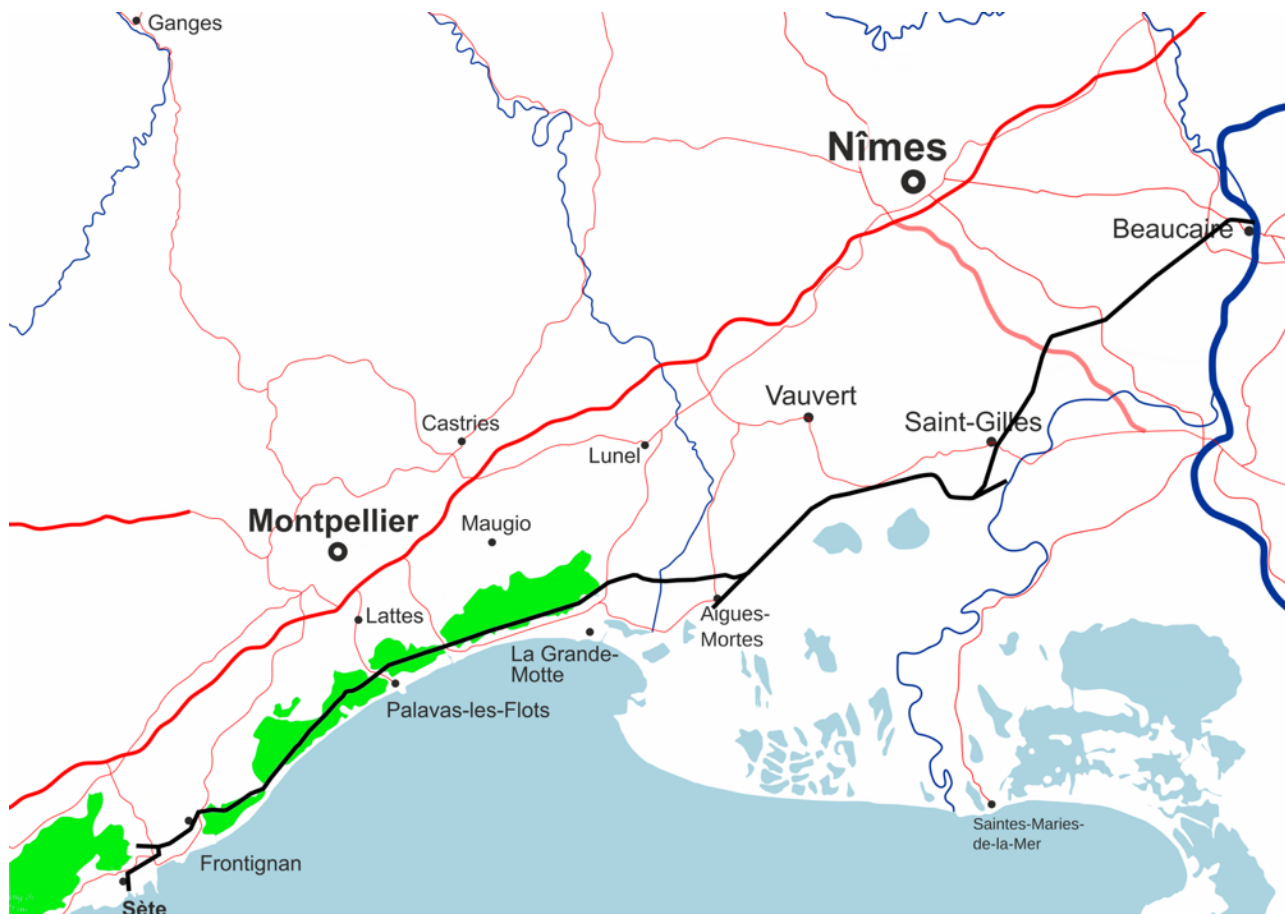
Impacts de la fin du fret sur le canal sur le report modal.

Le ferroviaire est depuis quelques années en pleine croissance. Le transport traditionnel de charbon, vins, céréales et engrais est en effet complété le transport de remorques et conteneurs. Le Port de Sète est dorénavant connecté à Zeebruges, Calais, Noisy-le-Sec avec jusqu'à 3 départs par jour.

Le fluvial représente 200 à 250 escales par an, essentiellement concentré sur le vrac mais avec aussi de nouvelles perspectives sur le conteneur. En complément des investissements des opérateurs privés, le port a investi dans les infrastructures et les outillages pour maintenir des accès de qualité et des conditions de manutention efficaces.

Le projet stratégique du Port de Sète pour 2021-2025 fixe l'objectif de doubler la part modale non routière (ferroviaire et fluvial), passant de 12 % à 24 %. dans le cadre d'une politique active pour accroître le report du routier vers le ferroviaire. On constate une décroissance croissante entre le trafic du port qui augmente et le trafic du canal qui diminue, ce qui donnerait à penser que le développement du port ne passe pas nécessairement par la voie d'eau, à moins de considérer que c'est l'état actuel du canal qui entrave son trafic.

Fiche 23 Les étangs



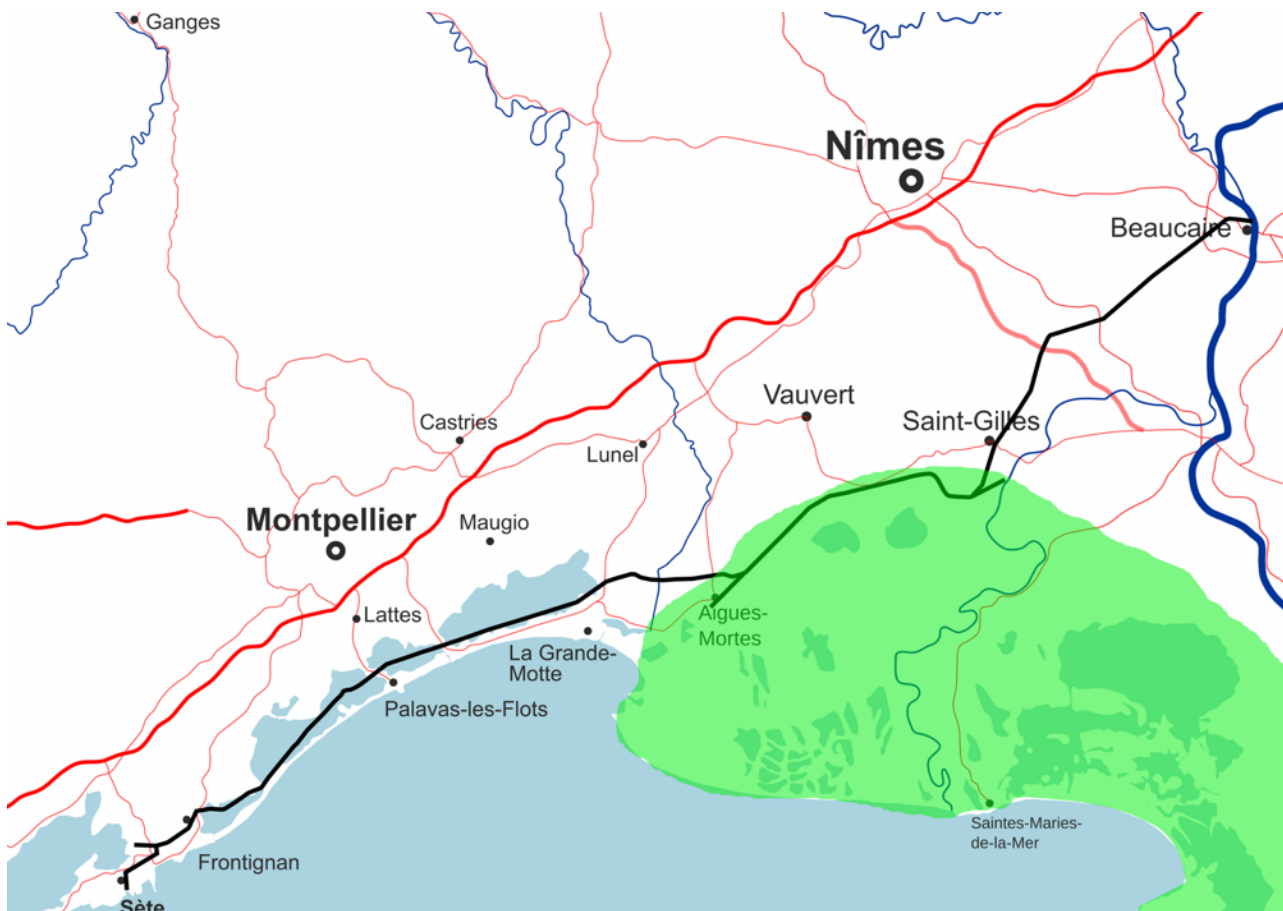
En vert : les étangs de l'Hérault.

Les étangs constituent une succession de lagunes bordant le littoral héraultais, certains couvrant une surface de plusieurs milliers d'hectares. Chaque étang correspond à une zone de faible profondeur qui est relié à la mer par des graus et possède des zones humides périphériques. Les lagunes et les zones humides présentent une diversité des habitats naturels due aux variations de salinité des eaux et du sol et aux variations de la hauteur d'eau. Les étangs renferment donc une biodiversité particulière, visible à travers la richesse faunistique et floristique.

La lagune et sa périphérie sont aussi le lieu d'activités socio-économiques diverses (agriculture, conchyliculture, tourisme) qui confère aux étangs leur typicité. Ces activités peuvent aussi rentrer en conflit entre elles et avec les objectifs de préservation des milieux.

Les zones humides permettent aussi de limiter les conséquences des crues et d'améliorer la qualité des eaux par épuration naturelle alors que la pression démographique et ses conséquences sur la quantité et la qualité des rejets d'eaux usées s'accroît.

Fiche 24 La Camargue



En vert : La Camargue.

La Camargue est une zone humide classée dont l'importance est de premier plan pour la biodiversité puisqu'elle sert notamment de halte pour de nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs.

Le canal se situe dans sa partie périphérique dans laquelle on retrouve des prairies humides naturelles qui sont préservées par le pâturage (taureaux et chevaux), une polyculture (viticulture, arboriculture, plaines cultivées) qui constitue l'habitat de nombreuses espèces notamment menacées comme l'Outarde canepetière et de grandes roselières au niveau des marais et des zones humides fluviolacustres.

Elle est cependant menacée par pollution, en particulier du Rhône et du petit Rhône et par l'érosion due à la montée du niveau marin.

7 BIBLIOGRAPHIE

Références citées dans les sections 1.1., 1.2. et 1.3. (État de l'art, cadre conceptuel & hypothèses)

- Barracco, A., Fazia, C., Oddo, M., Versaci, A., Vicari Aversa, C.S., 2024. Le paysage de l'architecture à la ville : Stratégies et méthodes de régénération par le design, in : Gervasi, O., Murgante, B., Garau, C., Taniar, D., C. Rocha, A.M.A., Faginas Lago, M.N. (Eds.), *Computational Science and Its Applications - ICCSA 2024 Workshops*. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 184-201. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65285-1_13
- Bateman IJ., Carson RT., Day b., Banemann w.m., Hanley n., hett t., Jones lee m., Loomes g., Mourato s., Ozdemiroglu e., Pearce d. 2002, "Benefit Transfer and Stated Preference Techniques", in BATEMAN (Ed), *Economic Valuation with Stated Preference Techniques: a Manual*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham (R.-U.).
- Bennett, V.J., 2017. Effets de la densité et du tracé des routes sur la conservation des espèces et de la biodiversité. *Curr Landscape Ecol Rep* 2, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s40823-017-0020-6>
- Billaud O, Soubeyrand M, Luque L & Lenormand M. 2020. Comprehensive decision-strategy space exploration for efficient territorial planning strategies. *Computers, Environment and Urban Systems* 83, 101516
- Bockstael N, Mcconnell K 2007. *Environmental and resource valuation with revealed preferences a theoretical guide to empirical models*. Springer, Berlin.
- Brou, E. 2019. Apports de l'évaluation délibérative dans la gestion concertée des ressources communes. L'exemple des marais Tanoé-Ehy. *VertigO*, 19 (1).
- Bruschi, D., Garcia, D.A., Gugliermetti, F., Cumo, F., 2015. Characterizing the fragmentation level of Italian's National Parks due to transportation infrastructures. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 36, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.006>
- Bunse, O. Rendon, S. Luque. 2015. What can deliberative approaches bring to the monetary valuation of ecosystem services? A literature review. *Ecosystem Services*, 14, pp. 88-9.
- Calvet, C., Napoléone, C., Salles, J.-M. (2015). The Biodiversity Offsetting Dilemma: Between Economic Rationales and Ecological Dynamics. *Sustainability*, 7, 7357–7378.
- Campagne C. S., Roche P., 2018, May the matrix be with you! Guidelines for the application of expert-based matrix approach for ecosystem services assessment and mapping. *One Ecosystem*, 3: 24134, 05.
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D. a, Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava, D.S., Naeem, S., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59–67. doi:10.1038/nature11148
- Castro, P.H. Verburg, B. MartinLopez, M. GarciaLlorente, C.C.Vaughn, J. Cabello. 2014. Ecosystem services trade-offs from supply to social demand: a landscape-scale spatial analysis. *Landscape and Urban Planning*, 132, pp. 102-110
- CGDD, 2017. L'Évaluation Française des Écosystèmes et des Services Écosystémiques (EFESE) – Cadre conceptuel, Collection Théma – Balises.
- Chaurand, J. 2017. La cohérence interterritoriale des projets de continuités écologiques. L'exemple de la Trame verte et bleue en France. Thèse de doctorat, AgroParisTech, Montpellier, 442 p. + Annexes.
- Chaurand J., Bigard C., Vanpeene-Bruhier S., Thompson J. D., 2019, Articuler la politique Trame verte et bleue et la séquence Éviter-réduire-compenser : complémentarités et limites pour une préservation efficace de la biodiversité en France. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 19, n°1. [Doi: 10.4000/vertigo.24472](https://doi.org/10.4000/vertigo.24472)
- Cheng, J., Yan, R., Gao, Y., 2020. Exploring spatial heterogeneity in accessibility and transit mode choice. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 87, 102521. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102521>
- Chevassus-au-Louis, B., Salles, J.M., Pujol, J.L., et al. (2009), *L'approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*, Paris, La Documentation française. 378 p.

- Christie, M., et al., 2012. An evaluation of monetary and non-monetary techniques for assessing the importance of biodiversity and ecosystem services to people in countries with developing economies. *Ecol. Econ.* 83, 67–78.
- Clauzel, C., Bannwarth, C., Foltete, J.-C., 2015. Integrating regional-scale connectivity in habitat restoration: An application for amphibian conservation in eastern France, *Journal for nature conservation* 23:98-107.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., Maginni, S., 2016. Nature-Based Solutions to address global societal challenges. IUCN.
- Cork, N.A., Fisher, R.S., Strong, N., Ferranti, E.J.S., Quinn, A.D., 2024. A systematic review of factors influencing habitat connectivity and biodiversity along road and rail routes in temperate zones. *Front. Environ. Sci.* 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1369072>
- Cornet, Y., Dudley, G., Banister, D., 2018. High Speed Rail: Implications for carbon emissions and biodiversity. *Case Studies on Transport Policy, TRANSPORT PLANNING AND POLICY* 6, 376–390. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.08.007>
- Cosquer, A., Raymond, R., Prevot-Julliard, A.-C., 2012. L'observation de la biodiversité au quotidien : une nouvelle perspective pour la conservation ? *Écologie et société* 17.
- Costanza, R., d' Arge, R., Groot, R. de, Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. et van den Belt, M., 1997. « The value of the world's ecosystem services and natural capital », *Nature*, 387, 253-260. doi:10.1038/387253a0
- Cuervo, D.P., Kessels, R., Goos, P., Sørensen, K., 2016. An integrated algorithm for the optimal design of stated choice experiments with partial profiles. *Transp. Res. Part B: Methodol.* 93, 648–669.
- Daily, G.C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P.M., Mooney, H.A., Pejchar, L., Ricketts, T.H. et al., 2009. « Ecosystem services in decision making: time to deliver », *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7, 21–28. doi:10.1890/080025
- Debele, S.E., Kumar, P., Sahani, J., Marti-Cardona, B., Mickovski, S.B., Leo, L.S., Porcù, F., Bertini, F., Montesi, D., Vojinovic, Z., Di Sabatino, S., 2019. Nature-based solutions for hydro- meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases. *Environ. Res.* 179, 108799. De Groot, R.S., Blignaut, J., Van Der Ploeg, S., Aronson, J., Elmqvist, T. et Farley, J., 2013. « Benefits of Investing in Ecosystem Restoration », *Conservation Biology*, 27, 1286–1293.
- Denjean, B., Denjean, B., Altamirano, M.A., Graveline, N., Giordano, R., Van der Keur, P., Moncoulon, D., Weinberg, J., Máñez Costa, M., Kozinc, Z., Mulligan, M., Pengal, P., Matthews, J., van Cauwenbergh, N., López Gunn, E., Bresch, D.N., Denjean, B., 2017. Natural Assurance Scheme: A level playing field framework for Green-Grey infrastructure development. *Environ. Res.* 159, Farber, S.C., Costanza, R., Wilson, M.A., 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecol. Econ.* 41 (3), 375–392.
- De Vriend H., Van Koningsveld M. (2015). Building with nature. *Ecoshape Building with nature*, 39 p.
- Faburel, G., Girault, M., 2016. La fin des villes, reprise de la critique. Mécanismes et impensés de la métropolisation et de ses Méga-Régions, ADEROC, ed, Carnets de la décroissance.
- Guerry, A. D., S. Polasky, J. Lubchenco, R. Chaplin-Kramer, G. C. Daily, R. Griffin, M. Ruckelshaus, I. J. Bateman, A. Duraiappah, T. Elmqvist, M. W. Feldman, C. Folke, J. Hoekstra, P. M. Kareiva, B. L. Keeler, S. Li, E. McKenzie, Z. Ouyang, B. Reyers, T. H. Ricketts, J. Rockström, H. Tallis, and B. Vira. 2015. Natural capital and ecosystem services informing decisions: from promise to practice. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112:7348-7355.
- Gundersen, V., Helge Frivold, L., 2011. Naturally dead and downed wood in Norwegian boreal forests: public preferences and the effect of information. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26, 110–119. <https://doi.org/10.1080/02827581.2010.536567>
- Guetté, A., Carruthers-Jones, J., Godet, L., Robin, M., 2018. « Naturalité » : concepts et méthodes appliqués à la conservation de la nature. *Cybergeog: European Journal of Geography.* <https://doi.org/10.4000/cybergeog.29140>
- Hanley, N., Shogren, J., White, B., 1997. *Environmental Economics in Theory and Practice*, first ed. Macmillan, Basingstoke.
- Hanley, N., Shogren, J.F., 2005. Is cost–benefit analysis anomaly-proof? *Environ. Resour. Econ.* 32 (1), 13–24.
- Hanley, N., Shogren, J.F., White, B., 2007. *Environmental Economics in Theory and Practice*, second ed. Palgrave Macmillan, New York.
- Hein, L., et al., 2006. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecol. Econ.* 57 (2), 209–228.
- Hensher, D.A., Rose, J.M., 2007. Development of commuter and non-commuter mode choice models for the assessment of new public transport infrastructure projects: A case study. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, Bridging Research and Practice: A Synthesis of Best Practices in Travel Demand Modeling* 41, 428–443. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.09.006>
- Hjorthol, R., 2008. Daily Mobility of Men and Women – A Barometer of Gender Equality?, in: *Gendered Mobilities*. Routledge.
- Hoehn, J., Randall, A., 2002. The effect of resource quality information on resource injury perceptions and contingent values. *Resour. Energy Econ.* 24, 13–31.

- Holmes t.p., Adamowicz w.l. (2003), "Attribute-based Methods", in CHAMP, BOYLE, BROWN (Eds.), A Primer on Nonmarket Valuation, Kluwer Publishing.
- Hoyos. 2010. The state of the art of environmental valuation with discrete choice experiments *Ecological Economics*, 69, pp. 1595-1603
- Hunter, L.M., Brehm, J., 2003. Qualitative Insight into Public Knowledge of, and Concern with, Biodiversity. *Human Ecology* 31, 309–320.
- Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution–Deposition and dispersion. *Atmospheric environment*, 105, 130-137.)
- Kermagoret, C., Levrel, H., Carlier, A., Dachary-Bernard J. 2016. Individual preferences regarding environmental offset and welfare compensation: a choice experiment application to an offshore wind farm project. *Ecol. Econ.*, 129 (2016), pp. 230-240,
- Kleespies, M.W., Dierkes, P.W., 2020. Impact of biological education and gender on students' connection to nature and relational values. *PLOS ONE* 15, e0242004. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242004>
- Kolstad, C.D., 2000. *Environmental Economics Volume 1*. Oxford University Press, p. 400.
- Krutilla, J.V., 1967. Conservation reconsidered. *Am. Econ. Rev.* 57 (4), 777–786.
- Kuhfuss, L., Preget, R., Thoyer, S., 2014. Préférences individuelles et incitations collectives: quels contrats agroenvironnementaux pour la réduction des herbicides par les viticulteurs? *Rev. d'Études en Agric. Environ.* 95, 111–143.
- Lacroix D. et Pioch S. 2011. The multi-use in wind farm projects: more conflicts or a win-win opportunity? *Aquatic Living Resources*, 24(2): 129-135
- Lancaster K. 1966 A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*.74:134- 157
- Lansar e, Louviere J. 2006. Deleting 'irrational' responses from discrete choice experiments: a case of investigating or imposing preferences? *Health Economics*. 15(8):797-811.
- Laurance WF, Clements GR, Sloan S, O'Connell CS, Mueller ND, Goosem M, et al. 2014. A global strategy for road building. *Nature*. 2014;513:229–32.
- Le Coent, P., Préget, R., Thoyer, S., 2017. Compensating environmental losses versus creating environmental gains: implications for biodiversity offsets. *Ecol. Econ.* 142, 120–129.
- Leyrit, C. (2015). Les enjeux de la participation des citoyens et de la place des experts, dans l'optique de la décision publique. *In* Expertise, décision, opinion publiques. Actes du Colloque organisé par le conseil scientifique de l'association française pour la prévention des catastrophes naturelles et le conseil général de l'environnement et du développement durable et le CNDP, 19 nov. 2015, Paris, 85p.
- Lindemann-Matthies, P., Bose, E., 2008. How Many Species Are There? Public Understanding and Awareness of Biodiversity in Switzerland. *Hum Ecol* 36, 731–742. <https://doi.org/10.1007/s10745-008-9194-1>
- Lindemann-Matthies, P., Briegel, R., Schüpbach, B., Junge, X., 2010. Aesthetic preference for a Swiss alpine landscape: The impact of different agricultural land-use with different biodiversity. *Landscape and Urban Planning* 98, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.07.015>
- LOM, 2019. LOI n° 2019-1428 du 24 décembre 2019 d'orientation des mobilités.
- Louviere, J.J., Hensher, D.A., Swait, J.D., 2000. *Stated Choice Methods: Analysis and Applications*. Cambridge University Press.
- Maxwell, S. L., Fuller, R. A., Brooks, T. M., Watson, J. E., 2016, Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers, *Nature* 536(7615):143-145.
- MEA [Millennium Ecosystem Assessment] (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, DC: World Resources Institute.
- McFadden D. 1974. "Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour", In *Frontiers in econometrics* (Ed Zarembka P.) Academic Press, New York, 105-142.
- Mermet (ed.), *Environnement : la concertation approuvée, contestée, dépassée*. Bruxelles, DeBoeck, 2015.
- Mermet, L., Homewood, K., Dobson, A., Billé, R., 2013. Five paradigms of collective action underlying the human dimension of conservation, in: *Key Topics in Conservation Biology 2*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 42–58. <https://doi.org/10.1002/9781118520178.ch3>
- Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE). (2015). Expertise, décision, opinion publiques. Comment renforcer le crédit accordé aux décisions publiques ? Actes du Colloque organisé par le conseil scientifique de l'association française pour la prévention des catastrophes naturelles et le conseil général de l'environnement et du développement durable et le CNDP, 19 nov. 2015, Paris, 85p.

- Moroń, D., Beim, M., Gudowska, A., Angeoletto, F., Celary, W., Cwajna, A., Indykiewicz, P., Lenda, M., Marjańska, E., Menzel, A., Skórka, P., Tryjanowski, P., 2024. Evaluating tramway infrastructure on biodiversity and ecosystem services. *Sci Rep* 14, 9394. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59460-2>
- Mouter, N., Cabral, M.O., Dekker, T., van Cranenburgh, S., 2019. The value of travel time, noise pollution, recreation and biodiversity: A social choice valuation perspective. *Research in Transportation Economics* 76, 100733. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2019.05.006>
- MTES, 2020. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone. Synthèse, Mars 2020, 32p.
- Noël j.-f., O'connor m., Tsang king sang j. 2000, "The Bouchereau woodland and the transmission of socio-ecological economic value", *Ecological Economics*, 34, 2, pp. 247-26.
- Norton, B.A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Harris, R.J., Hunter, A.M., Williams, N.S.G., 2015. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning* 134, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.10.018>
- Pascual, U., Muradian, R., Brander, L., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, M., Verman, M., Armsworth, P., Christie, M., Cornelissen, H., Eppink, F., Farley, J., Loomis, J., Pearson, L., Perrings, C., Polasky, S., 2010. The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. In: Kumar, P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London, pp. 183–256.
- Pereira, H.M., et al., 2010. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science* 330 (6010), 1496–1501.
- Peter, M., Diekötter, T., Kremer, K., Höffler, T., 2021. Caractéristiques des projets de science citoyenne : Lien avec les gains de connaissances et de compétences des participants. *PLOS ONE* 16, e0253692. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253692>
- Philip, L.J., MacMillan, D., 2005. Exploring values, context and perceptions in contingent valuation studies: the CV market stall technique and willingness to pay for wildlife conservation. *J. Environ. Plan. Manag.* 48 (2), 257–274.
- Rambonilaza, T., Brahic, E., 2016. Non-market values of forest biodiversity and the impact of informing the general public: Insights from generalized multinomial logit estimations. *Environmental Science & Policy* 64, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.008>
- Rey-Valette, H., Maurel, P., Jabbour, C., Cousin, C., Luque, S., Billaud, O., Salles, JM., *forthcoming*. Apport de l'information géospatiale aux décisions d'aménagement du territoire : une expérimentation à partir de cartes de services écosystémiques Développement Durable et Territoire.
- Roussel, S., Tardieu, L., & Vaissière, A. C. (2019). Compensation écologique et agriculture : est-ce compatible?. *Revue économique*, 70(1), 123-137
- Russell, R. et al., 2013. *Humans and Nature: How Knowing and Experiencing Nature Affect Well-Being*.
- Salgues M., Pioch S., Souche J.C., De Weerd K. (2020). L'écoconception maritime : une révolution pour les maîtres d'ouvrages. *Revue Paralia*, Volume 13 : 01-18
- Schaafsma et Brouwer, 2020. Substitution Effects in Spatial Discrete Choice Experiments. *Environmental and Resource Economics*, 75:323–349
- Sellers, J., Kübler, D., Walks, R.A., Walter-Rogg, M., 2013. *L'écologie politique de la Metropolis : Les sources métropolitaines du comportement électoral dans onze pays*. ECPR Press.
- Shin, Y.-J., Midgley, G.F., Archer, E.R.M., Arneith, A., Barnes, D.K.A., Chan, L., Hashimoto, S., Hoegh-Guldberg, O., Insarov, G., Leadley, P., Levin, L.A., Ngo, H.T., Pandit, R., Pires, A.P.F., Pörtner, H.-O., Rogers, A.D., Scholes, R.J., Settele, J., Smith, P., 2022. Actions to halt biodiversity loss generally benefit the climate. *Global Change Biology* 28, 2846–2874. <https://doi.org/10.1111/gcb.16109>
- Shoyama, K., Managi, S., Yamagata, Y., 2013. Public preferences for biodiversity conservation and climate-change mitigation: A choice experiment using ecosystem services indicators. *Land Use Policy* 34, 282–293. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.04.003>
- Shr, Y.-H. (Jimmy), Ready, R., Orland, B., Echols, S., 2019. How Do Visual Representations Influence Survey Responses? Evidence from a Choice Experiment on Landscape Attributes of Green Infrastructure. *Ecological Economics* 156, 375–386. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.10.015>
- Spash, C.L., 2001. Broadening democracy in environmental policy processes. *Environ. Plan. C: Gov. Policy* 19 (4), 475–481.
- Spash, C., 2007. Deliberative monetary valuation (DMV): issues in combining economic and political processes to value environmental change. *Ecol. Econ.* 63 (4), 690–699.
- Spash, C.L., Hanley, N., 1995. Preferences, information and biodiversity preservation. *Ecological Economics* 12, 191–208. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(94\)00056-2](https://doi.org/10.1016/0921-8009(94)00056-2)

- Stern, P.C., Dietz, T., Kalof, L., 1993. Value Orientations, Gender, and Environmental Concern. *Environment and Behavior* 25, 322–348. <https://doi.org/10.1177/0013916593255002>
- Tan, Z., Lau, K.K.-L., Ng, E., 2016. Urban tree design approaches for mitigating daytime urban heat island effects in a high-density urban environment. *Energy and Buildings*, SI: Countermeasures to Urban Heat Island 114, 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.031>
- Vaissière, A. C., Levrel, H., Hily, C., & Le Guyader, D. (2013). Selecting ecological indicators to compare maintenance costs related to the compensation of damaged ecosystem services. *Ecological indicators*, 29, 255-269.
- Van Acker, V., Kessels, R., Palhazi Cuervo, D., Lannoo, S., Witlox, F., 2020. Preferences for long-distance coach transport: Evidence from a discrete choice experiment. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 132, 759–779. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.11.028>
- Villemeys, A. Jeusset, M. Vargac, Y. Bertheau, A. Coulon, J. Touroult, ..., N. Deniaud. 2018. Can linear transportation infrastructure verges constitute a habitat and/or a corridor for insects in temperate landscapes? A systematic review. *Environmental Evidence*, 7 (1) p. 5.
- Wang, Y., Akbari, H., 2016. The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society* 27, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.013>
- Whitehead, J., Blomquist, G., 1991. Measuring contingent values for wetlands: effects of information about related environmental goods. *Water Resour. Res.* 27 (10), 2523–2531.
- Whittington, D., et al., 1992. Giving respondents time to think in contingent valuation studies: a developing country application. *J. Environ. Econ. Manag.* 22, 205–225.
- Wigan, M.R., Morris, J.M., 1981. The transport implications of activity and time budget constraints. *Transportation Research Part A: General* 15, 63–86. [https://doi.org/10.1016/0191-2607\(83\)90017-1](https://doi.org/10.1016/0191-2607(83)90017-1)

Références citées dans la section 2.1. (Enquête nationale par expérimentation des choix, modèles logit mixte)

- Bruschi, D., Garcia, D.A., Gugliermetti, F., Cumo, F., 2015. Characterizing the fragmentation level of Italian's National Parks due to transportation infrastructures. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 36, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.006>
- Chatzitheochari, S., Arber, S., 2012. Class, gender and time poverty: A time-use analysis of British workers' free time resources. *The British journal of sociology* 63, 451–471. <https://doi.org/10.1111/j.1468-4446.2012.01419.x>
- Clevenot, L., De Chastenet, C., Frascaria, N., Jacob, P., Raymond, R., Simon, L., Pech, P., 2017. Do Linear Transport Infrastructures provide a potential corridor for urban biodiversity? Case study in Greater Paris, France. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27895>
- Gardon, S., Mazoyer, H., 2014. Le «retour» du tramway en France, origines et controverses. *Revue d'histoire des chemins de fer* 105–114.
- González, R.C.L., Otón, M.P., Wolff, J.-P., 2013. Le tramway entre politique de transport et outil de réhabilitation urbanistique dans quelques pays européens: Allemagne, Espagne, France et Suisse, in: *Annales de Géographie*. Armand Colin, pp. 619–643.
- Guillon, B., 2013. À propos de la deuxième vague d'implantation des tramways en France: pérennisation ou modification des critères d'innovation? *Innovations* 51–63.
- Ibisch, P.L., Hoffmann, M.T., Kreft, S., Pe'er, G., Kati, V., Biber-Freudenberger, L., DellaSala, D.A., Vale, M.M., Hobson, P.R., Selva, N., 2016. A global map of roadless areas and their conservation status. *Science* 354, 1423–1427. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>
- IPBES, 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Diaz, & H. T. Ngo (Eds.). IPBES Secretariat: Bonn, Germany.
- Jakubcová, E., Horváthová, E., 2020. Costs and benefits of green tramway tracks. *Scienta Agriculturae Bohemica* 51, 99–106. <https://doi.org/10.2478/sab-2020-0012>

- Jara-Díaz, S.R., 2007. Allocation and valuation of travel-time savings, in: *Handbook of Transport Modelling: 2nd Edition*. Emerald Group Publishing Limited, pp. 363–379.
- Larroque, D., 1989. Apogée, déclin et relance du tramway en France. *Culture technique* 19, 54–56.
- Maxwell, S.L., Fuller, R.A., Brooks, T.M., Watson, J.E., 2016. Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* 536, 143–145.
- Pradono, P., Kusumantoro, I.P., Retapradana, A., 2015. Towards carbon dioxide emission reduction through public transport revitalization: case of proposed surabaya tram transit project. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 11, 967–978.
- SDES, 2019. Enquête mobilité des personnes 2018–2019.
- Sertsöz, M., 2023. CO2 emissions of trams and automobiles: a case study. *International Journal of Global Warming* 29, 254–264.
- Sikorski, P., Wińska-Krysiak, M., Chormański, J., Krauze, K., Kubacka, K., Sikorska, D., 2018. Low-maintenance green tram tracks as a socially acceptable solution to greening a city. *Urban Forestry & Urban Greening* 35, 148–164. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.08.017>
- Villemeys, A., Jeusset, A., Vargac, M., Bertheau, Y., Coulon, A., Touroult, J., Vanpeene, S., Castagneyrol, B., Jactel, H., Witté, I., 2018. Can linear transportation infrastructure verges constitute a habitat and/or a corridor for insects in temperate landscapes? A systematic review. *Environmental Evidence* 7, 1–33. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0117-3>

Références citées dans la section 2.2. (Enquête nationale par expérimentation des choix, modèles classes latentes)

- Abarda, A., Bentaleb, Y., El Moudden, M., Dakkon, M., Azhari, M., Zerouaoui, J., Ettaki, B., 2018. Solving the problem of latent class selection, in: *Proceedings of the International Conference on Learning and Optimization Algorithms: Theory and Applications, LOPAL '18*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1145/3230905.3230943>
- Abraham, C., Baumgart, T., Blanchet, J.D., 1970. Un modèle de prévision du trafic aérien intérieur. *Études et Techniques* 15–28.
- Abraham, C., Bonnafous, A., Ray, J.-B., 2016. Modèles de trafic et évaluation des avantages dans le calcul économique. *Les Cahiers scientifiques du transport* 55–78. <https://doi.org/10.46298/cst.12154>
- Annema, J.A., Koopmans, C., 2015. The practice of valuing the environment in cost-benefit analyses in transport and spatial projects. *Journal of Environmental Planning and Management* 58, 1635–1648. <https://doi.org/10.1080/09640568.2014.941975>
- Baehr, C., BenYishay, A., Parks, B., 2023. Highway to the forest? Land governance and the siting and environmental impacts of Chinese government-funded road building in Cambodia. *Journal of Environmental Economics and Management* 122, 102898. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2023.102898>
- Balany, F., Ng, A.W., Muttill, N., Muthukumaran, S., Wong, M.S., 2020. Green infrastructure as an urban heat island mitigation strategy—a review. *Water* 12, 3577. <https://doi.org/10.3390/w12123577>
- Balundê, A., Jovarauskaitė, L., Poškus, M.S., 2019. Exploring the Relationship Between Connectedness With Nature, Environmental Identity, and Environmental Self-Identity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *SAGE Open* 9, 2158244019841925. <https://doi.org/10.1177/2158244019841925>
- Batley, R., Bates, J., Bliemer, M., Börjesson, M., Bourdon, J., Cabral, M.O., Chintakayala, P.K., Choudhury, C., Daly, A., Dekker, T., Drivyla, E., Fowkes, T., Hess, S., Heywood, C., Johnson, D., Laird, J., Mackie, P., Parkin, J., Sanders, S., Sheldon, R., Wardman, M., Worsley, T., 2019. New appraisal values of travel time saving and reliability in Great Britain. *Transportation* 46, 583–621. <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9798-7>
- Binsuwadan, J., Wardman, M., de Jong, G., Batley, R., Wheat, P., 2023. The income elasticity of the value of travel time savings: A meta-analysis. *Transport Policy* 136, 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.03.013>
- Bishop, R.C., Boyle, K.J., 2019. Reliability and Validity in Nonmarket Valuation. *Environ Resource Econ* 72, 559–582. <https://doi.org/10.1007/s10640-017-0215-7>
- Boiteux, M., Baumstark, L., 2001. *Transports: choix des investissements et coût des nuisances*. La documentation française.
- Bolck, A., Croon, M., Hagenars, J., 2004. Estimating Latent Structure Models with Categorical Variables: One-Step Versus Three-Step Estimators. *Polit. anal.* 12, 3–27. <https://doi.org/10.1093/pan/mp001>
- Bonnel, P., 2002. *Prévision de la demande de transport (Doctoral dissertation)*. Université Lumière-Lyon II.

- Brechin, S.R., Kempton, W., 1994. Global environmentalism: a challenge to the postmaterialism thesis? *Social science quarterly* 75, 245–269.
- Broniewicz, E., Ogródnik, K., 2020. Multi-criteria analysis of transport infrastructure projects. *Transportation research part D: transport and environment* 83, 102351. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102351>
- Bruschi, D., Garcia, D.A., Gugliermetti, F., Cumo, F., 2015. Characterizing the fragmentation level of Italian's National Parks due to transportation infrastructures. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 36, 18–28. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.02.006>
- Callicott, J.B., 1984. Non-anthropocentric value theory and environmental ethics. *American Philosophical Quarterly* 21, 299–309.
- Campbell, D., Erdem, S., 2019. Including opt-out options in discrete choice experiments: issues to consider. *The Patient-Patient-Centered Outcomes Research* 12, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s40271-018-0324-6>
- Chaloner, K., Verdinelli, I., 1995. Bayesian experimental design: A review. *Statistical science* 10, 273–304.
- Chatzitheochari, S., Arber, S., 2012. Class, gender and time poverty: A time-use analysis of British workers' free time resources. *The British journal of sociology* 63, 451–471. <https://doi.org/10.1111/j.1468-4446.2012.01419.x>
- Cheng, J., Yan, R., Gao, Y., 2020. Exploring spatial heterogeneity in accessibility and transit mode choice. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 87, 102521. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102521>
- Chong, D., Druckman, J.N., 2007. Framing Theory. *Annu. Rev. Polit. Sci.* 10, 103–126. <https://doi.org/10.1146/annurev.polisci.10.072805.103054>
- Clevenot, L., De Chastenet, C., Frascaria, N., Jacob, P., Raymond, R., Simon, L., Pech, P., 2017. Do Linear Transport Infrastructures provide a potential corridor for urban biodiversity? Case study in Greater Paris, France. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27895>
- Colomi, A., Laniado, E., Muratori, S., 1999. Decision support systems for environmental impact assessment of transport infrastructures. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 4, 1–11. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)43951-6](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)43951-6)
- Cotgrove, S., Duff, A., 1980. Environmentalism, Middle-Class Radicalism and Politics. *The Sociological Review* 28, 333–351. <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1980.tb00368.x>
- Cox, D.T., Gaston, K.J., 2015. Likeability of garden birds: Importance of species knowledge & richness in connecting people to nature. *PLoS one* 10, e0141505. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141505>
- Dayer, A.A., Rosenblatt, C., Bonter, D.N., Faulkner, H., Hall, R.J., Hochachka, W.M., Phillips, T.B., Hawley, D.M., 2019. Observations at backyard bird feeders influence the emotions and actions of people that feed birds. *People and Nature* 1, 138–151. <https://doi.org/10.1002/pan3.17>
- DeSerpa, A.C., 1971. A Theory of the Economics of Time. *The Economic Journal* 81, 828–846. <https://doi.org/10.2307/2230320>
- Duelli, P., Obrist, M.K., 2003. Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems & Environment, Biotic Indicators for Biodiversity and Sustainable Agriculture* 98, 87–98. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00072-0)
- Fehnker, L., Pearson, D., Howland, P.J., 2022. Inclusion of nature in self and pro-nature beliefs: utilizing psychological scales in environmental management to further understand if interconnectedness with nature supports sustainable outcomes—A case study in Tāmaki Makaurau Auckland, Aotearoa New Zealand. *Australian Geographer* 53, 61–83. <https://doi.org/10.1080/00049182.2022.2051682>
- Flügel, S., 2014. Accounting for user type and mode effects on the value of travel time savings in project appraisal: Opportunities and challenges. *Research in Transportation Economics, Appraisal in Transport* 47, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.018>
- Fontaine, B., Moussy, C., Chiffard Carricaburu, J., Dupuis, J., Corolleur, E., Schmaltz, L., Lorrillifère, R., Lois, G., Gaudard, C., 2020. Suivi des oiseaux communs en France 1989-2019 : 30 ans de suivis participatifs. Detailed statistical analyses available here: <https://www.vigienature.fr/fr/observatoires/suivi-temporel-oiseaux-communs-stoc/resultats-3413>. MNHN- Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation, LPO BirdLife France.
- Gagnière, V., 2012. Les effets du tramway sur la fréquentation du transport public. Un bilan des agglomérations françaises de province. *Revue Géographique de l'Est* 52. <https://doi.org/10.4000/rge.3508>
- Galvez, T.E., Jara-Díaz, S.R., 1998. On the social valuation of travel time savings. *International Journal of Transport Economics/Rivista internazionale di economia dei trasporti* 205–219.
- Gaston, K.J., Evans, K.L., 2004. Birds and people in Europe. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 271, 1649–1655. <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2782>

- Gaüzère, P., Jiguet, F., Devictor, V., 2015. Rapid adjustment of bird community compositions to local climatic variations and its functional consequences. *Global Change Biology* 21, 3367–3378. <https://doi.org/10.1111/gcb.12917>
- Giraud, T., 2022. Osmr: interface between R and the OpenStreetMap-based routing service OSRM. *Journal of Open Source Software* 7, 4574. <https://doi.org/10.21105/joss.04574>
- Graves, R.A., Pearson, S.M., Turner, M.G., 2017. Species richness alone does not predict cultural ecosystem service value. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114, 3774–3779. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701370114>
- Guetté, A., Carruthers-Jones, J., Godet, L., Robin, M., 2018. « Naturalité » : concepts et méthodes appliqués à la conservation de la nature. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.29140>
- Gwilliam, K.M., 1997. The value of time in economic evaluation of transport projects: Lessons from recent research (No. OT-5). Washington DC.
- Hensher, D.A., Rose, J.M., Greene, W.H. (Eds.), 2015. Latent class models, in: *Applied Choice Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 706–741. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316136232.020>
- Howley, P., 2011. Landscape aesthetics: Assessing the general public's preferences towards rural landscapes. *Ecological Economics* 72, 161–169. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.09.026>
- Howley, P., Hynes, S., O'Donoghue, C., 2010. The citizen versus consumer distinction: an exploration of individuals' preferences in contingent valuation studies. *Ecological Economics* 69, 1524–1531. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.02.012>
- Ibisch, P.L., Hoffmann, M.T., Kreft, S., Pe'er, G., Kati, V., Biber-Freudenberger, L., DellaSala, D.A., Vale, M.M., Hobson, P.R., Selva, N., 2016. A global map of roadless areas and their conservation status. *Science* 354, 1423–1427. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7166>
- ITS Leeds, 2017. Programme for maintaining a robust valuation of travel time savings: feasibility study. Final Phase 1 report: List of options.
- Jakubcová, E., Horváthová, E., 2020. Costs and benefits of green tramway tracks. *Scienta Agriculturae Bohemica* 51, 99–106. <https://doi.org/10.2478/sab-2020-0012>
- Jara-Díaz, S.R., 2007. Allocation and valuation of travel-time savings, in: *Handbook of Transport Modelling: 2nd Edition*. Emerald Group Publishing Limited, pp. 363–379.
- Jiang, M., Morikawa, T., 2004. Theoretical analysis on the variation of value of travel time savings. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 38, 551–571. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2003.11.004>
- Johnston, R.J., Boyle, K.J., Adamowicz, W., Bennett, J., Brouwer, R., Cameron, T.A., Hanemann, W.M., Hanley, N., Ryan, M., Scarpa, R., 2017. Contemporary guidance for stated preference studies. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists* 4, 319–405. <https://doi.org/10.1086/691697>
- Jones, H., Moura, F., Domingos, T., 2014. Transport Infrastructure Project Evaluation Using Cost-benefit Analysis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, Transportation: Can we do more with less resources? – 16th Meeting of the Euro Working Group on Transportation – Porto 2013* 111, 400–409. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.073>
- Kusmanoff, A.M., Fidler, F., Gordon, A., Garrard, G.E., Bekessy, S.A., 2020. Five lessons to guide more effective biodiversity conservation message framing. *Conservation Biology* 34, 1131–1141. <https://doi.org/10.1111/cobi.13482>
- Lancaster, K.J., 1966. A new approach to consumer theory. *Journal of political economy* 74, 132–157. <https://doi.org/10.1086/259131>
- Linnell, J.D.C., Kaczensky, P., Wotschikowsky, U., Lescureux, N., Boitani, L., 2015. Framing the relationship between people and nature in the context of European conservation. *Conservation Biology* 29, 978–985. <https://doi.org/10.1111/cobi.12534>
- Luce, R.D., 1959. *Individual choice behavior: A theoretical analysis*. Wiley, New York.
- Ludwig, D., Brock, W.A., Carpenter, S.R., 2005. Uncertainty in Discount Models and Environmental Accounting. *Ecology and Society* 10.
- Ma, T.-Y., Gerber, P., Carpentier, S., Klein, S., 2015. Mode choice with latent preference heterogeneity: a case study for employees of the EU institutions in Luxembourg. *Transportmetrica A: Transport Science* 11, 441–463. <https://doi.org/10.1080/23249935.2015.1007175>
- Mackie, P., Worsley, T., Eliasson, J., 2014. Transport appraisal revisited. *Research in Transportation Economics, Appraisal in Transport* 47, 3–18. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.013>
- Mackie, P.J., Jara-Díaz, S., Fowkes, A.S., 2001. The value of travel time savings in evaluation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 37, 91–106. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(00\)00013-2](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(00)00013-2)

- Marando, F., Heris, M.P., Zulian, G., Udias, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., Maes, J., 2022. Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society* 77, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564>
- Mariel, P., Hoyos, D., Meyerhoff, J., Czajkowski, M., Dekker, T., Glenk, K., Jacobsen, J.B., Liebe, U., Olsen, S.B., Sagebiel, J., 2021. Environmental valuation with discrete choice experiments: Guidance on design, implementation and data analysis. Springer Nature.
- Martens, K., Di Ciommo, F., 2017. Travel time savings, accessibility gains and equity effects in cost–benefit analysis. *Transport Reviews* 37, 152–169. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1276642>
- Martin, C., Czellar, S., 2016. The extended inclusion of nature in self scale. *Journal of Environmental Psychology* 47, 181–194. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2016.05.006>
- McFadden, D., 1974. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior, in: *Frontiers in Econometrics*. Academic Press, New York, pp. 105–142.
- Meginnis, K., Burton, M., Chan, R., Rigby, D., 2021. Strategic bias in discrete choice experiments. *Journal of Environmental Economics and Management* 109, 102163. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.08.010>
- Meginnis, K., Hanley, N., Mujumbusi, L., Lamberton, P.H.L., 2020. Non-monetary numeraires: Varying the payment vehicle in a choice experiment for health interventions in Uganda. *Ecological Economics* 170, 106569. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106569>
- Metz, D., 2008. The Myth of Travel Time Saving. *Transport Reviews* 28, 321–336. <https://doi.org/10.1080/01441640701642348>
- Meunier, D., Quinet, E., 2015. Value of Time Estimations in Cost Benefit Analysis: The French Experience. *Transportation Research Procedia* 8, 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.06.042>
- Milfont, T.L., Duckitt, J., 2004. The structure of environmental attitudes: A first-and second-order confirmatory factor analysis. *Journal of environmental psychology* 24, 289–303. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2004.09.001>
- Mouter, N., 2016. Value of Travel Time: To Differentiate or Not to Differentiate? *Transportation Research Record* 2597, 82–89. <https://doi.org/10.3141/2597-11>
- Mouter, N., Cabral, M.O., Dekker, T., van Cranenburgh, S., 2019. The value of travel time, noise pollution, recreation and biodiversity: A social choice valuation perspective. *Research in Transportation Economics* 76, 100733. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2019.05.006>
- Mouter, N., Chorus, C., 2016. Value of time – A citizen perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 91, 317–329. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.02.014>
- Mouter, N., Koster, P., Dekker, T., 2021. Contrasting the recommendations of participatory value evaluation and cost-benefit analysis in the context of urban mobility investments. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 144, 54–73. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.12.008>
- MTE, 2019a. Ministère de la Transition écologique. Enquête « Mobilité des personnes » 2019. Service des données et études statistiques (SDÉS).
- MTE, 2019b. Valeurs de référence prescrites pour le calcul socio-économique.
- Niemeyer, S., Spash, C.L., 2001. Environmental Valuation Analysis, Public Deliberation, and their Pragmatic Syntheses: A Critical Appraisal. *Environ Plann C Gov Policy* 19, 567–585. <https://doi.org/10.1068/c9s>
- Nylund-Gibson, K., Choi, A.Y., 2018. Ten frequently asked questions about latent class analysis. *Translational Issues in Psychological Science* 4, 440. <https://doi.org/10.1037/tps0000176>
- Páez, A., Boisjoly, G., 2022. *Discrete Choice Analysis with R*. Springer.
- Palmquist, R.B., Phaneuf, D.J., Smith, V.K., 2010. Short Run Constraints and the Increasing Marginal Value of Time in Recreation. *Environ Resource Econ* 46, 19–41. <https://doi.org/10.1007/s10640-009-9331-3>
- Parsons, G.R., 2017. Travel Cost Models, in: Champ, P.A., Boyle, K.J., Brown, T.C. (Eds.), *A Primer on Nonmarket Valuation, The Economics of Non-Market Goods and Resources*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 187–233. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7104-8_6
- Pickett, S.T., Cadenasso, M.L., Grove, J.M., Groffman, P.M., Band, L.E., Boone, C.G., Burch, W.R., Grimmond, C.S.B., Hom, J., Jenkins, J.C., 2008. Beyond urban legends: an emerging framework of urban ecology, as illustrated by the Baltimore Ecosystem Study. *BioScience* 58, 139–150. <https://doi.org/10.1641/B580208>

- Primack, R.B., Miller-Rushing, A.J., Corlett, R.T., Devictor, V., Johns, D., Loyola, R., Hass, B., Pakeman, R.J., Pejchar, L., 2018. Biodiversity gains? The debate on changes in local-vs global-scale species richness. *Biological Conservation* 219, A1. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.023>
- Quinet, E., 2014. L'évaluation socioéconomique des investissements publics. France Stratégie, Direction générale du Trésor.
- R Core Team, 2023. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>.
- Rai, R.K., Scarborough, H., 2015. Nonmarket valuation in developing countries: incorporating labour contributions in environmental benefits estimates. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 59, 479–498. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12071>
- Rigal, S., Tardieu, L., Roussel, S., Calvet, C., Vaissière, A.-C., 2023. R code and data for Rethinking travel time valuation to the light of environmental preferences and individuals' socio-demographic characteristics. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10978803>
- Rogers, A.A., Kragt, M.E., Gibson, F.L., Burton, M.P., Petersen, E.H., Pannell, D.J., 2015. Non-market valuation: usage and impacts in environmental policy and management in Australia. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 59, 1–15. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12031>
- Roussel, S., Salles, J.-M., Tardieu, L., 2016. Recreation demand analysis of sensitive natural areas from an on-site survey. *Économie Régionale et Urbaine* 355–384.
- Sælensminde, K., 2003. Embedding effects in valuation of non-market goods. *Transport Policy* 10, 59–72. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(02\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(02)00032-X)
- Sarrias, M., Daziano, R., 2017. Multinomial logit models with continuous and discrete individual heterogeneity in R: the gmnll package. *Journal of Statistical Software* 79, 1–46. <https://doi.org/10.18637/jss.v079.i02>
- SAS, 2007. The % MktRuns Macro. Available online: <https://support.sas.com/en/support-home.html> (accessed on 8 September 2023).
- Schaak, H., Musshoff, O., 2020. Public preferences for pasture landscapes in Germany—A latent class analysis of a nationwide discrete choice experiment. *Land Use Policy* 91, 104371. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104371>
- Schafer, A., Victor, D.G., 2000. The future mobility of the world population. *Transportation research part a: policy and practice* 34, 171–205. [https://doi.org/10.1016/S0965-8564\(98\)00071-8](https://doi.org/10.1016/S0965-8564(98)00071-8)
- Schultz, P.W., 2002. Inclusion with nature: The psychology of human-nature relations, in: *Psychology of Sustainable Development*. Springer, pp. 61–78.
- Sharman, M., 2013. Biodiversity and Ecosystem Services: Opposed Visions, Opposed Paradigms. *Ecosystem Services: Global Issues, Local Practices* 79. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-419964-4.00007-X>
- Shires, J.D., De Jong, G.C., 2009. An international meta-analysis of values of travel time savings. *Evaluation and program planning* 32, 315–325. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2009.06.010>
- Shr, Y.-H. (Jimmy), Ready, R., Orland, B., Echols, S., 2019. How Do Visual Representations Influence Survey Responses? Evidence from a Choice Experiment on Landscape Attributes of Green Infrastructure. *Ecological Economics* 156, 375–386. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.10.015>
- Sikorski, P., Wińska-Krysiak, M., Chormański, J., Krauze, K., Kubacka, K., Sikorska, D., 2018. Low-maintenance green tram tracks as a socially acceptable solution to greening a city. *Urban Forestry & Urban Greening* 35, 148–164. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.08.017>
- Sinha, P., Calfee, C.S., Delucchi, K.L., 2021. Practitioner's guide to latent class analysis: methodological considerations and common pitfalls. *Critical care medicine* 49, e63. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000004710>
- Spash, C.L., 2000. Ethical motives and charitable contributions in contingent valuation: Empirical evidence from social psychology and economics. *Environmental Values* 9, 453–479.
- Storchová, L., Hořák, D., 2018. Life-history characteristics of European birds. *Global Ecology and Biogeography* 27, 400–406. <https://doi.org/10.1111/geb.12709>
- Sugden, R., 1999. Developing a consistent cost-benefit framework for multi-modal transport appraisal: A report for the Department of the Environment, Transport and the Regions.
- Ta, M.-T., Tardieu, L., Levrel, H., 2022. Characterizing the Demand Side of Urban Greening to Inform Urban Planning—A Discrete Choice Experiment in the Paris Metropolitan Region. *Revue d'économie politique* 32, 907–949.
- Tardieu, L., 2016. Economic evaluation of the impacts of transportation infrastructures on ecosystem services, in: *Handbook on Biodiversity and Ecosystem Services in Impact Assessment*. Edward Elgar, Cheltenham.

- Tardieu, L., Roussel, S., Thompson, J.D., Labarraque, D., Salles, J.-M., 2015. Combining direct and indirect impacts to assess ecosystem service loss due to infrastructure construction. *Journal of environmental management* 152, 145–157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.034>
- Tayleur, C.M., Devictor, V., Gaüzère, P., Jonzén, N., Smith, H.G., Lindström, Å., 2016. Regional variation in climate change winners and losers highlights the rapid loss of cold-dwelling species. *Diversity and Distributions* 22, 468–480. <https://doi.org/10.1111/ddi.12412>
- Tseng, Y.-Y., Verhoef, E.T., 2008. Value of time by time of day: A stated-preference study. *Transportation Research Part B: Methodological* 42, 607–618. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2007.12.001>
- US DOT, 2016. *The Value of Travel Time Savings: Departmental Guidance for Conducting Economic Evaluations Revision 2 (2016 Update)*. US Department of Transportation.
- Villemeys, A., Jeusset, A., Vargac, M., Bertheau, Y., Coulon, A., Touroult, J., Vanpeene, S., Castagneyrol, B., Jactel, H., Witté, I., 2018. Can linear transportation infrastructure verges constitute a habitat and/or a corridor for insects in temperate landscapes? A systematic review. *Environmental Evidence* 7, 1–33. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0117-3>
- Weller, B.E., Bowen, N.K., Faubert, S.J., 2020. Latent class analysis: a guide to best practice. *Journal of Black Psychology* 46, 287–311. <https://doi.org/10.1177/0095798420930932>
- Whitburn, J., Linklater, W., Abrahamse, W., 2020. Meta-analysis of human connection to nature and proenvironmental behavior. *Conservation Biology* 34, 180–193.
- Xie, L., Adamowicz, W., Kecinski, M., Fooks, J.R., 2022. Using economic experiments to assess the validity of stated preference contingent behavior responses. *Journal of Environmental Economics and Management* 114, 102659. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102659>
- Zhang, G., Laird, J., 2014. *Is the Equity Value of Time Really Fair?* Institute for Transport Studies, University of Leeds.

Références citées dans la section 2.3. (Partie délibérative)

- BRLi, 2022. *Etude de l'hydrologie du fleuve Rhône sous changement climatique – Mission 2 : Vulnérabilité et criticité de la ressource Rhône – Synthèse*.
- Castaigns, J., 2012. *Etude du fonctionnement hydrosédimentaire d'un écosystème lagunaire sur des échelles de temps multiples. Application au complexe lagunaire étangs Palavasiens-étang de l'Or-canal du Rhône à Sète (PhD Thesis)*. Université de Montpellier II.
- Daudibon, A., 2017. *Tourisme à vélo sur le canal du Rhône à Sète – Entre contraintes et opportunités*. Vélo & Territoires 49.
- Deketelaere-Hanna, M., Sandrin, Ma., 2020. *Canal du Rhône à Sète. Quel devenir ? (No. 012912–01)*. CGEDD.
- Dunlap, R.E., 2008. The new environmental paradigm scale: From marginality to worldwide use. *The Journal of environmental education* 40, 3–18.
- Dunlap, R.E., Van Liere, K.D., Mertig, A.G., Jones, R.E., 2000. New Trends in Measuring Environmental Attitudes: Measuring Endorsement of the New Ecological Paradigm: A Revised NEP Scale. *Journal of Social Issues* 56, 425–442. <https://doi.org/10.1111/0022-4537.00176>
- Fleury-Bahi, G., Marcouyeux, A., Renard, E., Roussiau, N., 2015. Factorial structure of the New Ecological Paradigm scale in two French samples. *Environmental Education Research*. <https://doi.org/10.1080/13504622.2014.913127>
- Guetté, A., Carruthers-Jones, J., Godet, L., Robin, M., 2018. « Naturalité » : concepts et méthodes appliqués à la conservation de la nature. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.29140>
- Lardon, S., 2013. *Construire un projet territorial: Le " jeu de territoire", un outil de coordination des acteurs locaux*. FaçSADe 1–4.
- Lardon, S., Angeon, V., Leblanc, P., Trognon, L., 2008. Usage du " jeu de territoire" pour faciliter la construction d'une vision partagée du territoire dans une démarche participative. L'élaboration du plan stratégique du Temiscamingue, in: 6. Colloque Franco-Polonais. Développement Durable Des Territoires: De La Mobilisation Des Acteurs Aux Démarches Participatives. Presses Universitaires Blaise Pascal, p. np.
- Lundmark, C., 2007. The new ecological paradigm revisited: anchoring the NEP scale in environmental ethics. *Environmental education research* 13, 329–347.
- MC, 2024. *POP : la plateforme ouverte du patrimoine - Patrimoine architectural (Mérimee)*.

MTC, 2024. Géorisques - Carte interactive.

Páez, A., Boisjoly, G., 2022. Discrete Choice Analysis with R. Springer.

PP, 2024. Protected Planet. World Database on Protected Areas.

Rosseel, Y., 2012. lavaan: An R package for structural equation modeling. Journal of statistical software 48, 1–36.

Schleyer-Lindenmann, A., Dauvier, B., Ittner, H., Piolat, M., 2016. Mesure des attitudes environnementales: analyse structurale d'une version française de la NEPS (Dunlap et al., 2000). Psychologie française 61, 83–102.

VNF, 2024. Réseaux fluviaux gérés par VNF.

8 SYNTHÈSE POUR DECIDEURS



PÉPITE

8.1 Synthèse du projet en français

Préférences sociales pour des caractéristiques Écologiques et Paysagères d'Infrastructures de Transports à l'échelle de tErritoires

Responsables scientifiques et coordinatrices du projet :

Anne-Charlotte VAISSIERE, CNRS, UMR ECOBIO Rennes, anne-charlotte.vaissiere@univ-rennes.fr

Coralie CALVET, AgroParisTech, UMR MRM, Univ. Montpellier, coralie.calvet@agroparistech.fr

Contexte et présentation du projet

Les questions d'acceptabilité sociale et de justice environnementale autour du développement des Infrastructures Linéaires de Transport (ILT) occupent une place de plus en plus importante dans la sphère publique aussi bien à des échelles locales que nationales. L'importance des mobilisations citoyennes pour l'environnement qui s'organisent en contestation des projets d'infrastructure en témoigne. Une partie des citoyens souhaite que les ILT et leurs emprises (ILTe) limitent leurs impacts sur l'environnement et soient mieux intégrées dans les paysages. Cependant, ces évolutions peuvent remettre en question certaines caractéristiques, ou encore certains services « premiers » rendus par les ILT tels que l'accès aux infrastructures et à leurs abords, et le temps de trajet. Ainsi, une autre question se pose :

Quels compromis les citoyens sont-ils prêts à faire sur les services rendus par les ILT pour des raisons environnementales ?

C'est précisément ce à quoi le projet de recherche **PÉPITE** tente de répondre en étudiant les Préférences des citoyens pour des caractéristiques Écologiques et Paysagères d'Infrastructures de Transports à l'échelle des tErritoires.

Dans ce projet, à la croisée entre des réflexions en *économie de l'environnement* pour l'évaluation des préférences individuelles, en *économie écologique* pour l'étude de la formation des préférences, et en *écologie des paysages* et *sciences de l'information spatiale* pour l'étude des possibles intégrations paysagères et écologiques des ILTe, nous avons développé une recherche interdisciplinaire avec une visée intégrative des problématiques complexes de conservation de la biodiversité et de demande sociale. Pour ce faire, notre projet réunit une équipe de sept chercheurs ancrés dans ces différentes disciplines, et appartenant à cinq laboratoires de recherche reconnus dans ces domaines : Écologie, Systématique et Évolution (ESE) ; Territoire, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (TETIS) ; Centre d'Économie de l'Environnement de Montpellier (CEE-M) ; Écosystèmes, Biodiversité et Évolution (ECOBIO), et Montpellier Research in Management (MRM).

Avec la volonté de mener une « recherche-action », le projet de recherche PÉPITE n'a pas uniquement favorisé l'interaction entre les chercheurs de différentes disciplines, mais aussi entre chercheurs et acteurs du territoire. Ce projet s'inscrit également dans une démarche d'échanges et de co-construction avec des partenaires opérationnels afin de répondre au mieux aux besoins identifiés et aux problématiques rencontrées concrètement dans les territoires. Dans cette perspective, deux collectivités territoriales intervenant à différents niveaux et un gestionnaire d'infrastructures portuaires, ont été impliqués dans ce projet : la Région Occitanie, l'Établissement Public Régional Port Sud de France et Voies Navigables de France. Ce partenariat nous a notamment permis d'avoir accès à des études de cas concrets pour la seconde partie d'évaluation délibérative menée dans le projet. Les échanges réguliers avec ces acteurs du territoire nous ont permis de construire une recherche au plus près des enjeux du cas d'étude étudié. Une telle démarche facilite également l'appropriation et la diffusion des résultats auprès des acteurs décisionnaires à l'échelle des territoires.

Dans ce projet, nous avons étudié deux types d'infrastructures à des échelles territoriales complémentaires : les projets d'extension de lignes de tramway à l'échelle nationale, et le canal du Rhône à Sète situé au sein de la Région Occitanie.

Résumé des objectifs et des objets d'étude du projet, et présentation de son déroulement

Le déclin de la biodiversité et l'identification de ses nombreuses causes et conséquences sont scientifiquement documentés depuis plusieurs décennies et sont devenus un enjeu politique et sociétal majeur. L'aménagement du territoire, à travers le développement des infrastructures et de l'urbanisation, conduit à la perte et à la fragmentation des habitats naturels et constitue donc l'un des principaux facteurs de déclin de la biodiversité. En raison de leur empreinte spatiale considérable, les infrastructures linéaires de transport et leurs emprises (ci-après, les ILTe) ont des impacts négatifs majeurs sur la biodiversité et les paysages qui nécessitent d'être pris en compte de façon urgente. Les impacts environnementaux à prendre en compte varient en fonction du mode de transport (avion, voiture, tramway ou train) et de l'intégration environnementale spécifique du projet. Dans le contexte des ILT, au-delà des émissions de polluants induites par l'infrastructure (qui varient selon le type d'ILT), leur construction peut avoir lieu sur des zones non urbanisées. Cela conduit alors inévitablement à des pertes d'espaces naturels et à la fragmentation des habitats qui ont des impacts directs et indirects sur la biodiversité, les paysages et le fonctionnement des écosystèmes. Néanmoins, en intégrant des considérations écologiques et paysagères, ces impacts peuvent être partiellement atténués, améliorant ainsi la qualité environnementale globale des ILT. Par exemple, les abords des ILT peuvent contribuer à limiter les effets du changement climatique en limitant les îlots de chaleur urbains s'ils sont aménagés dans ce sens (arbres, pelouses). Cependant, l'intégration écologique des infrastructures a longtemps été négligée dans les projets de développement des ILT qui étaient principalement axés sur les questions climatiques. En effet, face à l'urgence de l'atténuation du changement climatique, qui appelle notamment à une transformation en profondeur des modes de transport, les ILT sont appelées à jouer un rôle central. Les activités de transport représentent une part importante des émissions de gaz à effet de serre (GES) (1/3 en France) et n'ont montré aucun signe de diminution au cours des dernières décennies, ce qui souligne la nécessité de passer du transport individuel et

thermique aux transports publics à faible émission de carbone. Toutefois, une telle intégration écologique et paysagère des transports publics implique des ajustements des itinéraires ou des vitesses de transport, qui peuvent finalement avoir un impact sur les temps de trajet et conduire à des nécessaires arbitrages pour les individus. Cette problématique est au cœur du projet PÉPITE qui vise à évaluer ces arbitrages en posant la question suivante :

Quelle est la demande sociale associée à l'intégration environnementale et paysagère des infrastructures linéaires de transport à l'échelle des territoires ?

Notre projet conduit à comprendre dans quelles mesures les citoyens sont prêts à réaliser des compromis sur les caractéristiques des ILT (e.g. accès, confort, rapidité, prix) afin de limiter les impacts de celles-ci sur la biodiversité et sur les paysages (en évitant des zones à forts enjeux écologiques par exemple). Un des objectifs finaux du projet vise à favoriser la réflexion collective pour de nouvelles façons de concevoir un aménagement du territoire qui soit plus durable et respectueux des enjeux écologiques.

Le projet PÉPITE porte à la fois des objectifs académiques en apportant de nouvelles connaissances sur la demande sociale écologique, méthodologiques en mobilisant des méthodes innovantes et originales pour évaluer cette demande, et opérationnels en appuyant les acteurs et décideurs en matière d'aménagement des territoires. Il se divise en deux parties qui portent sur l'identification des préférences des citoyens pour l'intégration écologique et paysagère d'ILT.

- L'objectif de la première partie du projet vise à mieux comprendre et mesurer les arbitrages que les citoyens sont prêts à faire entre différents niveaux de prise en compte des enjeux écologiques et des variations de temps de transport dans leurs déplacements quotidiens. Nous avons choisi le tramway comme ILT pour notre première analyse, car les projets de tramway sont amenés à se développer à l'échelle nationale. En effet, il s'agit d'un transport collectif à énergie non carbonée qui constitue de ce fait un enjeu particulièrement important en France dans le cadre de la Loi d'orientation des mobilités (LOM) de 2019. Ils s'inscrivent bien dans l'objectif de neutralité carbone en 2050 (- 37,5 % d'émissions de CO₂ d'ici 2030) et d'interdiction de la vente de voitures utilisant des énergies fossiles carbonées d'ici 2040.
- La seconde partie du projet étudie la construction des préférences collectives des citoyens pour l'aménagement du territoire en lien avec les ILT. Avec le soutien financier de la Direction de la Mer de la Région Occitanie et l'accompagnement de Voies Navigables de France (VNF), nous avons choisi le cas du Canal du Rhône à Sète, actuellement en débat. Le canal est utilisé pour le fret fluvial et le tourisme, ce qui dégrade les berges et la biodiversité, et cause un envasement difficile à gérer. Avec la montée des eaux, les activités de fret, et même l'existence du canal, sont menacées au-delà de 2050. Maintenir ces activités nécessiterait des travaux coûteux de reconstruction et de dragage, avec des impacts notables sur la biodiversité. VNF et la Région sont donc confrontés à des injonctions contradictoires entre le maintien du fret pour réduire l'empreinte carbone des transports et la préservation des paysages et de la biodiversité.

Méthodes, Principaux résultats & Perspectives

L'enquête nationale de la première partie du projet, utilisant la méthode de l'expérience de choix discrets, a recueilli les préférences de 1094 répondants à travers la France, couvrant 570 communes autour de 17 agglomérations concernées par des projets d'extension de lignes de tramway. Réalisée par questionnaire en ligne et diffusée par un institut de sondage, l'enquête a été analysée avec deux modèles économétriques : un modèle logit mixte pour évaluer l'hétérogénéité des préférences individuelles, et un modèle de classes latentes pour évaluer les préférences selon des typologies des répondants. Le scénario proposé impliquait l'arrivée d'une nouvelle ligne de tramway sur une voie routière existante, sans nécessiter de nouvelles acquisitions de terrain. L'enquête évaluait la disposition des individus à augmenter leur temps de trajet quotidien selon quatre attributs : une augmentation de la couverture arborée sur les voies de tramway, l'accès ou non à une zone naturelle à proximité des voies, un attribut de biodiversité évalué selon la richesse et l'abondance des espèces d'oiseaux, et le biome relatif aux types d'espèces et à leurs habitats. Les participants choisissaient parmi des cartes combinant ces attributs et une augmentation du temps de transport (attribut de compromis).

Les résultats montrent que, dans l'ensemble, les individus ont une désutilité à passer plus de temps dans les transports lorsqu'il s'agit de leurs trajets réguliers quotidiens. Cependant, dans le cas d'une meilleure intégration paysagère du tramway et avec une possibilité d'usage de la nature le long des voies, les individus acceptent de passer plus de temps dans les transports. Les répondants qui ont un lien plus élevé avec la nature (évalué via l'utilisation de l'échelle d'inclusion de la nature en soi - INS) ont tendance à privilégier les attributs en lien avec la biodiversité. Enfin, nous remarquons un effet du *framing*, c'est-à-dire de l'apport d'information sur l'état de dégradation de la biodiversité : les individus qui ont eu cette information acceptent de rallonger leur temps de transport si le tramway est intégré écologiquement et limite alors ses impacts sur la biodiversité. Globalement, les femmes et les plus jeunes acceptent davantage de perdre du temps dans les transports pour des raisons environnementales. Concernant les typologies de répondants, nous identifions quatre profils dans les préférences en partie différenciés par la composition sociodémographique (revenu, catégorie socio-professionnelle) de la population et par la relation des répondants avec la nature. Globalement, l'étude a permis d'obtenir un aperçu empirique de la mesure dans laquelle les individus peuvent attribuer des valeurs différentes au temps de trajet en fonction de leurs préférences environnementales et de la qualité environnementale de l'infrastructure évaluée.

La deuxième partie du projet mesure l'apport de la délibération collective dans la formation des préférences grâce au jeu de territoire qui consiste en un jeu de plateau. Appliquée à l'étude du cas du canal du Rhône à Sète, les résultats révèlent l'importance de la co-construction des préférences pour améliorer les connaissances des individus et choisir des scénarios de moindre impact écologique. Dans le cadre de la transition écologique et du déclin de la biodiversité, il existe une forte demande sociale pour une meilleure intégration des infrastructures de transport linéaire (ILT). Cette demande, bien qu'hétérogène, plaide pour une prise en compte accrue des préférences environnementales dans les projets de transport et la participation des citoyens dans la construction des scénarios d'aménagement future. La compréhension des compromis écologiques par les citoyens est cruciale pour orienter les politiques publiques et sensibiliser à

l'importance des enjeux environnementaux. Lorsque la demande sociale est faible, l'éducation et la communication deviennent essentielles pour sensibiliser tous les acteurs concernés.



PÉPITE

8.2 PROJECT SUMMARY

Social preferences for the ecological and landscape characteristics of transport infrastructures on a territorial scale

Scientific leaders and project coordinators:

Anne-Charlotte VAISSIERE, *CNRS, UMR ECOBIO Rennes*, anne-charlotte.vaissiere@univ-rennes.fr
Coralie CALVET, *AgroParisTech, UMR MRM, Univ. Montpellier*, coralie.calvet@agroparistech.fr

Context and presentation of the project

The issues of social acceptability and environmental justice surrounding the development of Linear Transport Infrastructures (LTI) are playing an increasingly important role in the public sphere at both local and national level. This is borne out by the scale of the environmental campaigns organised by citizens to challenge infrastructure projects. Some citizens would like to see ILTs and their rights of way (ILTe) limit their impact on the environment and be better integrated into the landscape. However, these changes may call into question certain characteristics, or even certain "primary" services provided by ILT, such as access to infrastructure and its surroundings, and journey times. This raises another question:

What compromises are citizens prepared to make on the services provided by ILT for environmental reasons?

This is precisely what the **PÉPITE** research project is attempting to answer by studying citizens' preferences for the ecological and landscape characteristics of transport infrastructures at the territorial level.

In this project, at the crossroads between environmental economics for the evaluation of individual preferences, ecological economics for the study of preference formation, and landscape ecology and spatial information sciences for the study of the possible landscape and ecological integration of ILTe, we have developed interdisciplinary research with the aim of integrating the complex issues of biodiversity conservation and social demand. To achieve this, our project brings together a team of seven researchers rooted in these different disciplines, and belonging to five recognised research laboratories in these fields: Écologie, Systématique et Évolution (ESE); Territoire, Environnement, Télédétection et Information Spatiale (TETIS); Centre d'Économie de l'Environnement de Montpellier (CEE-M); Écosystèmes, Biodiversité et Évolution (ECOBIO), and Montpellier Research in Management (MRM).

The PÉPITE research project has not only encouraged interaction between researchers from different disciplines, but also between researchers and local players. The project is also part of a process of exchange and co-construction with operational partners, in order to respond as effectively as possible to the needs identified and the problems encountered in the field. With this in mind, two local authorities operating at different levels and a port infrastructure manager were involved in the project: the Occitanie Region, the Etablissement Public Régional Port Sud de France and Voies Navigables de France. In particular, this partnership gave us access to concrete case studies for the second part of the deliberative evaluation carried out in the project. Regular exchanges with these local players enabled us to develop research that was as close as possible to the issues at stake in the case study. Such an approach also facilitates the appropriation and dissemination of results to decision-makers at local level.

In this project, we studied two types of infrastructure on complementary territorial scales: tramway line extension projects on a national scale, and the Rhône-Sète canal in the Occitanie region.

Summary of the project's aims and objectives, and a description of how it was carried out

The decline in biodiversity and the identification of its many causes and consequences have been scientifically documented for several decades and have become a major political and societal issue. Spatial planning, through the development of infrastructure and urbanisation, leads to the loss and fragmentation of natural habitats and is therefore one of the main factors in the decline of biodiversity. Because of their considerable spatial footprint, linear transport infrastructures and their rights of way (hereinafter referred to as ILTe) have major negative impacts on biodiversity and landscapes, which need to be taken into account as a matter of urgency. The environmental impacts to be taken into account vary depending on the mode of transport (plane, car, tram or train) and the specific environmental integration of the project. In the context of ILT, in addition to the pollutant emissions induced by the infrastructure (which vary according to the type of ILT), their construction may take place in non-urbanised areas. This inevitably leads to the loss of natural areas and the fragmentation of habitats, with direct and indirect impacts on biodiversity, landscapes and the functioning of ecosystems. However, by incorporating ecological and landscape considerations, these impacts can be partially mitigated, thereby improving the overall environmental quality of LTIs. For example, the surroundings of LTIs can help to limit the effects of climate change by limiting urban heat islands if they are landscaped accordingly (trees, lawns). However, the ecological integration of infrastructure has long been neglected in ILT development projects, which were mainly focused on climate issues. Given the urgency of mitigating climate change, which calls in particular for an in-depth transformation of modes of transport, ILT is set to play a central role. Transport activities account for a significant proportion of greenhouse gas (GHG) emissions (1/3 in France) and have shown no sign of decreasing in recent decades, underlining the need to shift from individual and thermal transport to low-carbon public transport. However, integrating public transport in this way, both ecologically and in terms of the landscape, requires adjustments to be made to transport routes and speeds, which can ultimately have an impact on journey times and lead to the necessary trade-offs for individuals. This issue is at the heart of the PÉPITE project, which aims to assess these trade-offs by asking the following question:

What is the social demand associated with the environmental and landscape integration of linear transport infrastructures at regional level?

Our project aims to understand the extent to which citizens are prepared to make compromises on the characteristics of ILT (e.g. access, comfort, speed, price) in order to limit its impact on biodiversity and landscapes (by avoiding areas of high ecological value, for example). One of the ultimate aims of the project is to encourage collective reflection on new ways of designing more sustainable land-use planning that respects ecological issues.

The PÉPITE project combines academic objectives by providing new knowledge on ecological social demand, methodological objectives by mobilising innovative and original methods to assess this demand, and operational objectives by supporting stakeholders and decision-makers in spatial planning. It is divided into two parts, both of which focus on identifying citizens' preferences for the ecological and landscape integration of ILT.

- The aim of the first part of the project is to better understand and measure the trade-offs that citizens are prepared to make between different levels of consideration for ecological issues and variations in travel time in their daily journeys. We have chosen the tramway as the LTI for our first analysis, because tramway projects are likely to develop on a national scale. Trams are a form of carbon-free public transport, and are therefore a particularly important issue in France as part of the 2019 Loi d'orientation des mobilités (LOM). They fit in well with the goal of carbon neutrality by 2050 (-37.5% CO₂ emissions by 2030) and a ban on the sale of cars using carbon-based fossil fuels by 2040.
- The second part of the project studies the construction of citizens' collective preferences for spatial planning in relation to ILT. With the financial support of the Direction de la Mer of the Occitanie Region and the support of Voies Navigables de France (VNF), we have chosen the case of the Canal du Rhône à Sète, currently under debate. The canal is used for river freight and tourism, which is damaging the banks and biodiversity, and causing silting that is difficult to manage. With rising water levels, freight activities, and even the existence of the canal, are threatened beyond 2050. Maintaining these activities would require costly reconstruction and dredging work, with significant impacts on biodiversity. VNF and the Region are therefore faced with contradictory injunctions between maintaining freight activities to reduce the carbon footprint of transport and preserving landscapes and biodiversity.

Methods, main results and outlook

The national survey in the first part of the project, using the discrete choice experiment method, gathered the preferences of 1,094 respondents across France, covering 570 communes around 17 conurbations affected by tramway line extension projects. Conducted by online questionnaire and distributed by a polling institute, the survey was analysed using two econometric models: a mixed logit model to assess the heterogeneity of individual preferences, and a latent class model to assess preferences according to respondent typologies. The proposed scenario involved the arrival

of a new tram line on an existing road, without the need for new land acquisition. The survey assessed people's willingness to increase their commuting time according to four attributes: an increase in tree cover on the tramway tracks, whether or not they had access to a natural area near the tracks, a biodiversity attribute assessed according to the richness and abundance of bird species, and the biome relative to the types of species. Participants chose from maps combining these attributes and an increase in travel time (compromise attribute).

The results show that, on the whole, people are reluctant to spend more time on transport when it comes to their regular daily journeys. However, if the tramway is better integrated into the landscape and if nature is allowed to be used along the tracks, people are willing to spend more time on public transport. Respondents who have a higher connection with nature (assessed using the nature inclusion scale - INS) tend to favour biodiversity-related attributes. Finally, we note an effect of framing, i.e. the provision of information on the state of degradation of biodiversity: individuals who have received this information agree to extend their travel time if the tramway is ecologically integrated and thus limits its impact on biodiversity. Overall, women and younger people are more willing to lose time in transport for environmental reasons. In terms of respondent typologies, we identified four preference profiles, differentiated in part by the socio-demographic composition (income, socio-professional category) of the population and by respondents' relationship with nature. Overall, the study has provided an empirical insight into the extent to which individuals can assign different values to travel time depending on their environmental preferences and the environmental quality of the infrastructure being evaluated.

The 2nd part of the project measures the contribution of collective deliberation to preference formation by means of the territory game, which consists of a board game. Applied to the case study of the Rhône à Sète canal, the results reveal the importance of the co-construction of preferences in improving people's knowledge and choosing scenarios with the least ecological impact. In the context of the ecological transition and the decline in biodiversity, there is a strong social demand for better integration of linear transport infrastructures (LTI). This demand, although heterogeneous, argues in favour of taking greater account of environmental preferences in transport projects and involving citizens in the construction of future development scenarios. Citizens' understanding of ecological trade-offs is crucial for guiding public policy and raising awareness of the importance of environmental issues. When social demand is low, education and communication become essential to raise awareness among all the stakeholders concerned.

9 RESUME COURT

Le déclin de la biodiversité, aggravé par le développement des infrastructures et l'urbanisation, est un enjeu majeur. Le développement des Infrastructures Linéaires de Transport (ILT) contribue à la perte et à la fragmentation des habitats naturels. Le projet PÉPITE examine comment les ILT et leurs emprises peuvent être mieux intégrées dans les paysages et plus respectueuses des enjeux écologiques afin d'atténuer leurs impacts sur l'environnement. Cependant, l'intégration écologique des ILT peut avoir un impact sur certaines caractéristiques, ou encore certains services « premiers » rendus par les ILT tels que l'accès aux infrastructures et à leurs abords, et le temps de

trajet. C'est précisément ce à quoi le projet de recherche **PÉPITE** tente de répondre en étudiant les **Préférences des citoyens pour des caractéristiques Écologiques et Paysagères d'Infrastructures de Transports à l'échelle des tErritoires**. Le projet vise alors à comprendre quels compromis les citoyens sont prêts à faire sur les services rendus par les ILT pour des raisons environnementales. Le projet est interdisciplinaire en rassemblant sept chercheurs de cinq laboratoires de recherche dans des domaines variés tels que l'économie de l'environnement, l'économie écologique, l'écologie des paysages, et les sciences de l'information spatiale. Dans une démarche de « recherche-action », le projet favorise l'interaction entre chercheurs et acteurs du territoire, incluant la Région Occitanie, l'Établissement Public Régional Port Sud de France, et Voies Navigables de France.

Les transports représentent une part significative des émissions de gaz à effet de serre (GES) en France. La transition vers des transports publics à faible émission de carbone est cruciale pour atteindre les objectifs de neutralité carbone. Les projets de tramway, un transport collectif à énergie non carbonée, sont choisis pour cette analyse, s'inscrivant dans les objectifs de la Loi d'orientation des mobilités (LOM) de 2019 pour une neutralité carbone en 2050. Dans ce projet, nous avons étudié deux types d'infrastructures à des échelles territoriales complémentaires : les projets d'extension de lignes de tramway à l'échelle nationale, et le canal du Rhône à Sète situé au sein de la Région Occitanie.

Le projet se divise en deux parties. La première partie vise à comprendre les arbitrages que les citoyens sont prêts à faire entre les enjeux écologiques et les variations de temps de transport dans leurs déplacements quotidiens dans le cas de projets réels d'extension de lignes de tramway à l'échelle de la France. La seconde partie étudie la construction des préférences collectives des citoyens pour l'aménagement du territoire lié aux ILT, avec le cas spécifique du Canal du Rhône à Sète. Utilisé pour le fret fluvial et le tourisme, le canal est menacé par la montée des eaux et la dégradation de ses berges. Des travaux coûteux et écologiquement impactant seraient nécessaires pour maintenir ces activités. VNF et la Région doivent concilier réduction de l'empreinte carbone et préservation des paysages et de la biodiversité.

Une enquête nationale, utilisant la méthode de l'expérience de choix discrets, a recueilli les préférences de 1094 répondants sur des projets d'extension de lignes de tramway. L'enquête évaluait la disposition des individus à augmenter leur temps de trajet selon quatre attributs : couverture arborée, accès à une zone naturelle, richesse et abondance des espèces d'oiseaux, et types d'espèces et leurs habitats. Les résultats montrent globalement une désutilité générale à passer plus de temps dans les transports, mais une meilleure intégration paysagère et des possibilités d'usage de la nature le long des voies de tramway rendent les individus plus disposés à prolonger leurs temps de trajet. Également, le sentiment d'inclusion des individus à la nature et le fait de recevoir de l'information sur le déclin de la biodiversité impactent significativement la propension des individus à accepter de passer plus de temps dans les transports. La seconde partie du projet utilise un jeu de plateau pour étudier la délibération collective sur le cas du Canal du Rhône à Sète. Les résultats révèlent que la co-construction des préférences améliore la connaissance des individus et favorise le choix de scénarios à moindre impact écologique. Le projet met en lumière une forte demande sociale pour une meilleure intégration des ILT, essentielle pour orienter les politiques publiques et sensibiliser aux enjeux environnementaux.

10 ABSTRACT

The decline in biodiversity, exacerbated by infrastructure development and urbanisation, is a major issue. The development of Linear Transport Infrastructures (LTI) contributes to the loss and fragmentation of natural habitats. The PÉPITE project is examining how LTIs and their rights of way can be better integrated into the landscape and more respectful of ecological issues in order to mitigate their impact on the environment. However, the ecological integration of ILT can have an impact on certain characteristics, or even certain 'primary' services provided by ILT, such as access to infrastructure and its surroundings, and journey times. This is precisely what the PÉPITE research project is seeking to address by studying citizens' preferences for the ecological and landscape characteristics of transport infrastructure at the territorial level. The project then aims to understand what compromises citizens are prepared to make on the services provided by LTIs for environmental reasons. The project is interdisciplinary, bringing together seven researchers from five research laboratories in a variety of fields including environmental economics, ecological economics, landscape ecology and spatial information sciences. Using a 'research-action' approach, the project encourages interaction between researchers and local players, including the Occitanie Region, the regional public body Port Sud de France and Voies Navigables de France.

Transport accounts for a significant proportion of greenhouse gas (GHG) emissions in France. The transition to low-carbon public transport is crucial to achieving carbon neutrality. Tramway projects, a carbon-free form of public transport, are chosen for this analysis, as they are in line with the objectives of the 2019 Loi d'orientation des mobilités (LOM) for carbon neutrality in 2050. In this project, we studied two types of infrastructure on complementary territorial scales: tramway line extension projects on a national scale, and the Rhône-Sète canal in the Occitanie region.

The project is divided into two parts. The first part aims to understand the trade-offs that citizens are prepared to make between ecological issues and variations in travel time in their daily journeys in the case of real projects to extend tramway lines throughout France. The second part studies the construction of citizens' collective preferences for land-use planning linked to ILT, with the specific case of the Canal du Rhône à Sète. Used for river freight and tourism, the canal is threatened by rising water levels and the deterioration of its banks. Costly and ecologically damaging works would be necessary to maintain these activities. VNF and the Region must reconcile reducing the carbon footprint with preserving the landscape and biodiversity.

A national survey, using the discrete choice experiment method, gathered the preferences of 1,094 respondents on tramway line extension projects. The survey assessed people's willingness to increase their journey time according to four attributes: tree cover, access to a natural area, richness and abundance of bird species, and types of species and their habitats. Overall, the results show a general disinclination to spend more time on transport, but better landscape integration and opportunities to use nature along tram routes make people more willing to extend their journey times. Also, people's sense of inclusion in nature and the fact of receiving information about the decline in biodiversity have a significant impact on their propensity to agree to spend more time on public transport. The second part of the project uses a board game to study collective deliberation in the case of the Canal du Rhône à Sète. The results show that the co-construction of preferences improves people's knowledge and favours the choice of scenarios

with less ecological impact. The project highlights a strong social demand for better integration of ILT, which is essential for guiding public policy and raising awareness of environmental issues.